



# **ЗБІРКА ТЕЗ**

**8-ої науково-практичної конференції**

**молодих вчених**

## **НОВІ ТЕХНОЛОГІЇ І МАТЕРІАЛИ У МАШИНОБУДУВАННІ**

**присвячена пам'яті С.В. Шуміхіна,  
В.І. Дубодєлова та Ю.В. Моїсеєва**

**ФТІМС НАН України**

**Київ-Сичавка**

**3-6 вересня 2020 р.**



Національна академія наук України  
Фізико-технологічний інститут металів та сплавів



## **8-ма науково-практична конференція молодих вчених**

### **«НОВІ ТЕХНОЛОГІЇ І МАТЕРІАЛИ У МАШИНОБУДУВАННІ»,**

**присвячена пам'яті С.В. Шуміхіна, В.І. Дубодєлова та  
Ю.В. Моїсеєва**

Київ-Сичавка, ФТІМС НАН України,  
3-6 вересня 2020 р.

### **Організаційний комітет конференції:**

**Верховлюк А.М.** – голова Оргкомітету, доктор технічних наук, заст. директора ФТІМС НАН України.

**Кондратюк С.Є.** – заступник голови Оргкомітету, доктор технічних наук.

**Квасницька Ю.Г.** – заступник голови Оргкомітету, доктор технічних наук.

**Ворон М.М.** – заступник голови Оргкомітету, кандидат технічних наук, Голова Ради наукової молоді ФТІМС НАН України, відповідальний секретар журналу «Процеси лиття».

**Пархомчук Ж.В.** – член Оргкомітету, кандидат технічних наук, заступник Голови Ради наукової молоді ФТІМС НАН України, відповідальний секретар журналу «Металознавство та обробка металів».

**Верзілов О.П.** – член Оргкомітету, кандидат технічних наук, відповідальний секретар журналу «Метал та лиття України».

**Калюжний П.Б.** – член Оргкомітету, кандидат технічних наук, заступник Голови Ради наукової молоді ФТІМС НАН України.

**Михнян О.В.** – член Оргкомітету, кандидат технічних наук, член Ради наукової молоді ФТІМС НАН України.

**Семенко А.Ю.** – член Оргкомітету, кандидат технічних наук, член Ради наукової молоді ФТІМС НАН України.

**Костецький Ю.В.** – член Оргкомітету, доктор технічних наук, завідувач кафедри фізико-хімічних основ технології металів НТУУ «Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського».

**Ямшинський М.М.** – член Оргкомітету, доктор технічних наук, завідувач кафедри ливарного виробництва чорних та кольорових металів НТУУ «Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського».

**Шваб С.Л.** – член Оргкомітету, кандидат технічних наук, голова Ради наукової молоді ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України, голова Ради наукової молоді ВФТПМ НАН України, перший заступник голови Ради наукової молоді НАН України.

**Миронюк Д.В.** – член Оргкомітету, кандидат фізико-математичних наук, голова Ради наукової молоді ІПМ НАН України.

Задачі конференції – представлення результатів досліджень молодих науковців, які працюють у сферах ливарного виробництва, металургії, матеріалознавства та супутніх із ними технологій, обмін знаннями та досвідом, обговорення актуальних питань світових та вітчизняних трендів та стратегій розвитку науки, техніки і технологій, а також розширення співпраці між молодими науковцями.

**Тематика конференції:**

1. Сучасні технології лиття та обробки рідких металів та сплавів.
2. Нові прогресивні матеріали та технології їх одержання.
3. Металознавство та термічна обробка металів і сплавів.
4. Металургійні процеси та обладнання.
5. Інноваційні та міждисциплінарні рішення у виробництві матеріалів.

**Робочі мови конференції** – українська, російська, англійська.

**Довідки щодо проведення конференції:**

Ворон Михайло Михайлович, тел.: (050) 913-32-30.

E-mail: [ptima.rnm@gmail.com](mailto:ptima.rnm@gmail.com)

**Регламент проведення заходу:**

*3 вересня*

23:00 – збір біля виходу з метро Академмістечко

23:30 – збір біля центрального входу у ФТІМС НАН України, посадка в автобус

23:59 – відправлення автобусу до бази відпочинку «Наука»

*4 вересня*

7:00 – 11:00 – поселення та відпочинок

11:00 – 12:00 – реєстрація учасників конференції

12:00 – 14:00 – привітання та пленарне засідання

14:00 – 15:00 – перерва

15:00 – 18:00 – робота конференції

*5 вересня*

11:00 – 14:00 – імпровізований «team building» наукової молоді з обговорення нагальних питань розширення співпраці та планування стратегічного розвитку

17:00 – 23:00 – фуршет

*6 вересня*

12:00 – 13:00 – відправлення

20:00 – 21:00 – прибуття у Київ

## ВСТУПНЕ СЛОВО

В історії української науки є велика кількість видатних імен, які ми не маємо права забувати. За кожною науковою установою та кожним значним дослідницьким результатом часто стоять люди, про яких мало що відомо широкому загалу. Напевно, кожен з нас може згадати деяких своїх колег із доброю посмішкою поваги та гордості за те, що мав честь працювати разом з ними. Такі люди дають нам не лише знання та досвід, вони показують власним прикладом, що значить бути відданим своїй справі, бути взірцем та справжнім другом, радять, підтримують та надихають нас бути справжніми професіоналами та людьми.

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів може по праву пишатися визначною плеядою унікальних особистостей, які пов'язали з ним своє життя. Цього року ми присвячуємо конференцію трьом визначним діячам нашого інституту, щоб їхні імена та справи стали ще більш відомими широкому загалу наукової молоді та якомога довше надихали на нові досягнення.

**Шуміхін Володимир Сергійович** (1939-2012) був відомим дослідником в області теорії та практики фізико-хімічних процесів плавки та кристалізації ливарних сплавів, розробці та оптимізації процесів одержання високоякісного та спеціального литва. Він також приймав активну участь у створенні монетних сплавів, які знайшли своє впровадження у створенні національної валюти України.

Володимир Сергійович виклав результати своїх досліджень більш ніж у 300 роботах, 60 авторських свідоцтвах та патентах та 4 монографіях. Серед його учнів 5 докторів та 12 кандидатів наук. Він також вніс значний вклад у матеріально-технічне забезпечення інституту, наукову та організаційну складову і суспільну діяльність. Діяльність Володимира Сергійовича відзначено орденом «За заслуги»

III ступеня, Почесною грамотою Кабінета Міністрів України та званням «Заслужений діяч науки і техніки України». Він також був майстром спорту СРСР з трьох видів спорту, протягом ряду років очолював Федерацію альпінізму і скелелазання України.

**Віктор Іванович Дубодєлов (1939-2020)** все своє життя пов'язав із ФТІМС НАН України, пройшовши шлях від аспіранта до заступника директора інституту та завідуючого відділу магнітної гідродинаміки. З 2012 року Віктор Іванович був дійсним членом (академіком) НАН України.

Він був відомим вченим і одним з визнаних лідерів науково-технічного напрямку, пов'язаного з вивченням фізичних механізмів одержання металевих матеріалів при накладенні електромагнітних полів та магнітогідродинамічних (МГД) явищ у комплексі з іншими фізико-хімічними впливами на металеві системи в рідкому стані та в процесі фазових переходів.

Започаткування таких досліджень відбулося у створеній на початку 60-х років ХХ ст. групою молодих фахівців, серед яких був і В.І. Дубодєлов, лабораторії. Згодом, на основі такого об'єднання утворилася визнана в Україні і світі наукова школа магнітодинамічної обробки металів та відділі магнітної гідродинаміки ФТІМС НАН України.

За безпосередньої участі та під керівництвом В. І. Дубодєлова створено та впроваджено оригінальні МГД-технології та обладнання для введення рідких алюмінію і феросплавів у сталь, здійснення комплексної термосилової та реагентної позапічної обробки ливарних та деформівних алюмінієвих сплавів, мідних сплавів спеціального призначення, розроблено концепцію революційних МГД-технологій одержання нового покоління композиційних матеріалів, вперше у світі створено електромагнітний міксер-дозатор сталі, розроблено передумови для застосування магнітодинамічних пристроїв при без-

перервному розливанні металів та сплавів.

В. І. Дубоделов також забезпечив масштабну комерціалізацію та впровадження створених розробок на провідних машинобудівних, металургійних та ливарних підприємствах в Україні (зокрема, першого у світі потужного магнітодинамічного міксера-дозатора сталі на ЗАТ «НКМЗ») і за кордоном (тільки за останні роки – у Нідерландах, Республіці Корея, Великій Британії).

Зазначені здобутки наукової школи були включені до видання «Національна академія наук України. Видатні досягнення. 1918-2018», присвяченого 100-річчю з дня заснування НАН України. Віктор Іванович також був співавтором зареєстрованого наукового відкриття.

Результати його наукової діяльності знайшли віддзеркалення у майже 500 публікаціях (близько 60 з них – в зарубіжних виданнях), серед яких 3 монографії, більш ніж 100 авторських свідоцтв і патентів на винаходи, у т. ч. зарубіжних, кількох публікаціях у енциклопедичних виданнях.

В. І. Дубоделов брав активну участь у складі члена міжнародних наукових комітетів в роботі престижних конференцій за тематикою електромагнітної обробки матеріалів, фундаментальної та прикладної магнітної гідродинаміки, що відбувалися у Японії, Франції, Німеччині, Італії, Латвії та інших країнах. Він був членом міжнародної асоціації з гідромагнітних явищ “HYDROMAG” і асоціації Інституту заліза і сталі Японії.

В. І. Дубоделов був науковим керівником 8 кандидатських та науковим консультантом 3 докторських дисертацій. Він також активно займався педагогічною діяльністю та був удостоєний великої кількості звань, премій та подяк.

**Юрій Васильович Моїсєв** (1939-2020) все своє професійне життя присвятив ФТІМС НАН України. Він пройшов шлях від інженера до головного наукового співробітника, займав посади завідувача відділу спеціальних способів лиття та відділу автоматизації.

Наукова діяльність Юрія Васильовича пов'язана з широким колом проблем ливарного виробництва, особливе місце в якому займало створення автоматизованих процесів та спеціальних способів лиття.

За участю Юрія Васильовича створено типорозмірний ряд обладнання для лиття під низьким та електромагнітним тиском, відцентрового лиття та лиття з направленою кристалізацією. Даним обладнанням було модернізовано величезну кількість виробничих ділянок та підприємств СРСР та України.

Під керівництвом Ю.В. Моїсеєва були створені зразки малогабаритних приладів для оперативної оцінки структурного стану, дефектності та твердості виливків з використанням акустичного, електромагнітного, струмо вихрового і термоелектричного методів.

За результатами досліджень Юрія Васильовича опубліковано близько 200 робіт, 2 монографії, 80 авторських свідоцтв та патентів на винаходи.

Юрій Васильович був людиною широких інтересів та неймовірно високої ерудиції. Для багатьох молодих науковців він був справжнім авторитетом, вчителем та захисником. Він сам першим завжди цікавився проблемами молоді та всіляко намагався допомогти їх вирішити і підтримати, як в професійному плані, так і в особистих питаннях. Юрій Васильович був також взірцем чесності, принциповості та сміливості в усіх питаннях, що його турбували. Ця виключно добра та світла людина надихала і продовжує надихати наукову молодь тренувати характер, досягати нових висот і завжди ставати краще.

Ми впевнені, в тому, що маємо частіше згадувати наших вчителів та друзів, бути схожими на них і ставати навіть кращими, продовжуючи їх справи та створюючи нові ідеї, які будуть надихати наступні покоління!

**ЗМІСТ**

<u>Безсмертна В. І.</u> <b>АРМУЮЧІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ КОМПОЗИТИВ ТРИКОТАЖНОЇ СТРУКТУРИ ЯК АЛЬТЕРНАТИВА ТКАНИМ ПОЛОТНАМ.....</b>	<b>10</b>
<u>Васильєв Д. С.</u> <b>АНАЛІЗ ПОВЕРХНЕВИХ ДЕФЕКТІВ БЕЗПЕРЕРВНОЛИТОЇ ЗАГОТОВКИ.....</b>	<b>13</b>
<u>Вейс В. І., Пархомчук Ж. В.</u> <b>ВПЛИВ ІЗОТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ РОЗПЛАВУ НА ФОРМУВАННЯ ЛИТОЇ СТРУКТУРИ СТАЛЕЙ ЗА РІЗНИХ ШВИДКОСТЕЙ ОХОЛОДЖЕННЯ.....</b>	<b>15</b>
<u>Калюжний С. М.</u> <b>МІКРОПЛАЗМОВЕ НАПИЛЕННЯ ПОКРИТЯ З ЦИРКОНІЄВОГО СПЛАВУ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ МЕДИЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ.....</b>	<b>17</b>
<u>Костецький Ю. В., Тацький Є. В.</u> <b>ЕЛЕКТРОШЛАКОВИЙ ПЕРЕПЛАВ ВИСОКОМІЦНИХ ПЛАСТИЧНИХ СТАЛЕЙ СИСТЕМИ Fe-Mn-Al-C....</b>	<b>19</b>
<u>Ліхацький Р. Ф., Ворон М. М.</u> <b>ОДЕРЖАННЯ СПЛАВІВ СИСТЕМИ Cu-V ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВОЮ ПЛАВКОЮ.....</b>	<b>21</b>
<u>Ліхацький Р. Ф., Ліхацький І. Ф.</u> <b>ОТРИМАННЯ СПЛАВІВ СИСТЕМИ Cu-Cr-Zr В УМОВАХ ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВОЇ ЛИВАРНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ.....</b>	<b>24</b>
<u>Лук'яненко А. О., Демецька О. В.</u> <b>ВИЗНАЧЕННЯ ЦИТОТОКСИЧНОСТІ ЗВАРЮВАЛЬНОГО АЕРОЗОЛЮ НА ОСНОВІ ДОСЛІДЖЕНЬ БІОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ АЕРОЗОЛІВ.....</b>	<b>26</b>
<u>Майданчук Т.Б.</u> <b>НОВІ ЗВАРЮВАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ РЕМОНТУ ВИРОБІВ З ЛИВАРНИХ СКЛАДНОЛЕГОВАНИХ БРОНЗ.....</b>	<b>28</b>
<u>Мотруніч С. І., Димань М. М., Мотруніч Б. І.</u> <b>ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ОПОРУ ВТОМИ ТОНКОЛИСТОВИХ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ ПРИ РЕГУЛЯРНОМУ ТА ВИПАДКОВОМУ ЦИКЛІЧНОМУ НАВАНТАЖЕННІ.....</b>	<b>31</b>
<u>Нейма О. В., Михнян О. В.</u> <b>ЗАСТОСУВАННЯ ПІНОКЕРАМІЧНИХ ФІЛЬТРІВ ПРИ ЛИТТІ ДЕТАЛЕЙ ГТД В ОБОЛОНКОВІ ФОРМИ, ОДЕРЖАНІ ЗА ППС МОДЕЛЯМИ.....</b>	<b>33</b>
<u>Пархомчук Ж. В., Вейс В. І.</u> <b>ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРНО-ЧАСОВИХ ПАРАМЕТРІВ ПЛАВЛЕННЯ ТА КРИСТАЛІЗАЦІЇ НА ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ СТАЛІ.....</b>	<b>36</b>
<u>Пінчук М. О., Тимошенко Я. Г.</u> <b>СПЛАВ НА ОСНОВІ ЗАЛІЗА МОДИФІКОВАНИЙ ВУГЛЕВІСНИМ ПОРОШКОВИМ КОМПОЗИТОМ.....</b>	<b>38</b>



<u>Погребач Є. В., Шевчук Т. В., Коломійцев С. В.</u> <b>ОСОБЛИВОСТІ МОДЕЛЮВАННЯ ВЗАЄМОДІЇ РІДКОГО МЕТАЛУ З ПІНОПОЛІСТИРОЛОВОЮ МОДЕЛЛЮ У ЛИВАРНІЙ ФОРМІ.....</b>	<b>40</b>
<u>Сілі І. І., Чурсіна О. В.</u> <b>СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ ЗАСТОСУВАННЯ ГРАФЕНУ У БІОІНЖЕНЕРІЇ.....</b>	<b>42</b>
<u>Слюсарев В. А., Калюжний П. Б.</u> <b>ВИКОРИСТАННЯ АКТИВНИХ ДИФУНДУЮЧИХ ФАРБ ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ ВИЛИВКІВ СПЕЦВИРОБІВ ЗА МОДЕЛЯМИ, ЩО ГАЗИФІКУЮТЬСЯ.....</b>	<b>44</b>
<u>Тимошенко А. М., Шматко О. В., Гончарова О. М., Гончаров П. В.</u> <b>ЛАЗЕРНО-ЛИВАРНИЙ МЕТОДОМ ОТРИМАННЯ ДИСПЕРСНО- ЗМІЦНЕНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ З ВИКОРИСТАННЯ РЕАКТОРА З ОБРОБКОЮ РУХОМОГО СТРУМЕНЮ РОЗПЛАВУ.....</b>	<b>46</b>
<u>Ткач В. А., Хижун О. Ю.</u> <b>МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОННОЇ БУДОВИ ЧЕТВЕРНИХ ХАЛЬКОГЕНІДІВ <math>Cu_2HgGeS_4</math> ТА <math>Cu_2HgGeSe_4</math> МЕТОДОМ ТЕОРІЇ ФУНКЦІОНАЛУ ЩІЛЬНОСТІ.....</b>	<b>48</b>
<u>Фон Прусс М. А., Ворон М. М.</u> <b>ВПЛИВ МОЛІБДЕНУ НА СТРУКТУРУ ВТОРИННИХ СИЛУМІНІВ.....</b>	<b>50</b>
<u>Хохлов М. А., Єрмоленко Д. Ю., Хохлова Ю. А.</u> <b>ЛЕГУВАННЯ СПЛАВІВ СИСТЕМ <math>Mg-Al</math> ТА <math>Mg-Cd</math> ГАЛІЄМ ТА 3D-ВІЗУАЛІЗАЦІЯ ЇХ МЕХАНІЗМІВ ЗМІЦНЕННЯ.....</b>	<b>52</b>
<u>Шваб С. Л.</u> <b>ТЕХНОЛОГІЯ ТІГ ЗВАРЮВАННЯ І НАПЛАВЛЕННЯ ТИТАНОВОГО СПЛАВУ ВТ22 ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ КЕРУЮЧОГО МАГНІТНОГО ПОЛЯ І ПРИСАДНОГО ПОРОШКОВОГО ДРОТУ.....</b>	<b>54</b>
<u>Янголь О. А.</u> <b>ПЛАЗМОВЕ РАФІНУВАННЯ І МОДИФІКАЦІЯ МІДНИХ СПЛАВІВ ТИТАНОМ ТА НІКЕЛЕМ.....</b>	<b>55</b>

УДК 629.73: 677.025:677.5

Безсмертна В.І., м. н. с. відділу 33, [bezsmertna.v.i@gmail.com](mailto:bezsmertna.v.i@gmail.com)

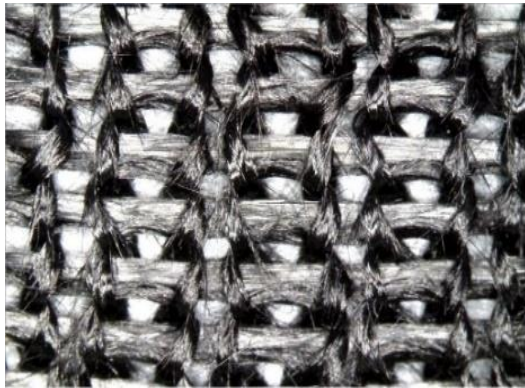
ІПМ НАН України ім. І. М. Францевича

## **АРМУЮЧІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ КОМПОЗИТІВ ТРИКОТАЖНОЇ СТРУКТУРИ ЯК АЛЬТЕРНАТИВА ТКНИМ ПОЛОТНАМ**

Основними перевагами полімерних композиційних матеріалів на основі вуглецевих волокон є їх високі фізико-механічні властивості та опір втомлюваності при зменшеній питомій вазі, що дає можливість підвищити ефективність авіаційних конструкцій. Традиційно для виготовлення авіаційних конструкцій використовуються композити на основі вуглецевих волокон тканої структури, які виготовляють на ткацьких верстатах переплетенням поздовжніх (основа) і поперечних (уток) ниток. Недоліком виробництва вуглецевих тканих полотен є те, що для заправки машини може знадобитися до 1000 бобін ниток, тобто виготовлення навіть невеликої кількості тканого матеріалу потребує об'ємної закупівлі матеріалів.

Для вирішення поставленого завдання в ІПМ НАН України розроблено подвійне кулірне уточне переплетення з плосков'язальної машини, яке дозволяє прийняти рівноцінне навантаження як з лицьового, так і з виворітного боку, а також виготовити трикотаж необхідної заданої ширини. Поряд з можливістю текстильної переробки високоміцних вуглецевих, скляних, арамідних та ін. ниток розроблена технологія виготовлення уточних трикотажних полотен, що незалежно від ширини полотна потребує від 1 до 4 бобін ниток. Дані трикотажні полотна можливо використовувати як односпрямовані наповнювачі, в яких більше 85% волокон розташовані в одному напрямку. Як нитки основи використовуються вуглецеві волокна з ПАН, а як уток - високоміцні скляні або хімічні волокна. Завдяки такому розподілу волокон властивості матеріалу краще сприймають навантаження в одному напрямку і значно перевершують за фізико-механічними показниками традиційні матеріали.

Принцип виготовлення трикотажу уточних переплетень (ластик з утком) полягає в прокладці в кожному петельному ряду основи прямих уточних ниток. В такому трикотажі одна з ниток утворює основу головного переплетення, а інша нитка прокладається між голечницями в петлю прямою, без пров'язування. Також в трикотажі прокладення уточної нитки відбувається з 1 системи ниткоподачі, що дозволяє чітко зафіксувати уточну нитку в структурі трикотажу. Така фіксація є більш надійною і дозволяє отримати полотно з високими експлуатаційними показниками. Даним методом можливо отримувати комбінований наповнювач і гібридні композити на його основі, в яких можна об'єднати різні нитки, наприклад, вуглецеві та скляні, вуглецеві та арамідні, вуглецеві та вуглецеві, скляні та арамідні та інші (рис.1).



а



б



в



г

*Рисунок 1. Комбінований вуглецевий волокнистий наповнювач трикотажної структури: а - Тоho Tenax - Урал 100; б- Тоho Tenax - склонитка ; в - Тоho Tenax - СВМ; г - Тоho Tenax поліамідна нитка*

*Таблиця 1 – Характеристики міцності на розрив трикотажних полотен*

№ п/п	Напрямок утку	↔			↕		
		Розривне наванта- ження	Подовження		Розривне наванта- ження	Подов- ження	
		Н	мм	%	Н	мм	%
1	Toho Tenax - скляна	240	43	9,6	1790	35	7,8
2	Toho Tenax - поліамідна	1180	86	19,1	1980	28	6,22
3	Toho Tenax – СВМ	1380	37	8,2	2500	25	5,6
4	Toho Tenax - Урал 100	350	44	9,8	1270	36	8

Ще однією перевагою перед класичним волокнистим наповнювачем є можливість корегувати еластичність трикотажних полотен. Так, наприклад, при необхідності прийняти форму об'єкту, трикотажне полотно дає краще облягання, зберігаючи свої міцнісні властивості.



*a*



*б*

*Рисунок 2. Вуглецеві полонна на сфері: а- трикотажне полотно, б- ткане полотно*

Таким чином, використання трикотажних полотен утокових переплетень дозволяє виготовляти полотна, поєднуючи різні види ниток без необхідності об'ємної закупівлі матеріалів та виробничих площ. Можливості трикотажної машини дозволяють виготовляти полотна заданої ширини з фіксованими краями. Завдяки еластичним властивостям трикотажу, полотна можуть бути використанні для армування об'єктів об'ємних форм зі збереженням міцнісних властивостей.

УДК 621.74.045

Д. С. Васильєв, аспірант [d0505909366@gmail.com](mailto:d0505909366@gmail.com)

Одеський національний політехнічний університет

## АНАЛІЗ ПОВЕРХНЕВИХ ДЕФЕКТІВ БЕЗПЕРЕРВНОЛИТОЇ ЗАГОТОВКИ

В останнє десятиліття безперервне розливання сталі набирає все більшої популярності. У зв'язку з цим, гостро стоїть питання усунення поверхневих дефектів заготовки при безперервного розливання сталі.

До основних поверхневим дефектам стали можна віднести: поперечні тріщини, пояси, завороту кірки, поздовжні тріщини, шлакові включення, газові бульбашки. Розглянемо більш детально причини їх появи і методи боротьби.

Поперечні тріщини - як правило, знаходяться перпендикулярно розливання металу по гранях заготовки. Зазвичай, даний дефект розташований посередині граней, або ж в кутах заготовки. Основною причиною появи поперечних тріщин є кристалізатор, а саме зайва конусність або дефект робочої поверхні. Також до причин виникнення поперечних тріщин можна віднести незначна кількість шлакоутворюючої суміші або мастила в кристалізаторі [1].

Поздовжні тріщини - основною характеристикою є розрив металу, що веде за собою порушення суцільності заготовки. Причиною дефекту є внутрішня напруга, які виникають під час формування в різних інтервалах температур. Наслідком даного дефекту може стати прорив заготовки при його наявності в зоні вторинного перебування. На появу поздовжніх тріщин значний вплив мають радіус кутів гільз кристалізаторів.

Залівін - даний дефект утворюється після проникнення рідкого металу в площу між кіркою злитка і стінкою кристалізатора, що утворюється в результаті дефекту меніска. Найчастіше даний дефект утворюється на початковому етапі виробництва заготовки через низьку швидкості розливання, або некоректної мастила кристалізатора. Для запобігання Залівін необхідно стабілізувати швидкість розливання, удосконалити роботу мастила поверхні і знизити амплітуду коливань металу [2].

Шлакові включення - дефект при безперервного розливання сталі, що зустрічається на поверхні заготовки і, в більшості випадків, здатний проникати всередину. Як показує практика, такі дефекти зустрічаються найчастіше в області ребер. Основні методи боротьби з жужільними включеннями - дотримання температурного діапазону, застосування сучасних вогнетривів, дотримання оптимальних режимів розкислення сталі, підтримування постійного рівня сталі в кристалізаторі і поршні.

Використовуючи метод математичного моделювання були розглянуті випадки спотворення геометричної форми заготовки, часто зустрічаються на практиці. Було експериментально доведено, що ймовірність виникнення внутрішніх тріщин, часто визначається величиною ромбічності заготовки. Для зменшення ймовірності відходження кута твердої скоринки від гільзи кристалізатора, необхідно забезпечити раціональний профіль кута гільзи, а саме, оптимізувати радіус і конусність по висоті.

Найбільш ефективним заходом при цьому може стати забезпечення максимальної інтенсивності відводу тепла в верхній половині гільзи, що забезпечить прискорене нарощування шару твердої скоринки, який буде стійкий до внутрішнього напруження.

#### **Список літератури:**

1. Шалімов А.Г. Високошвидкісна безперервна вилівок сталевих заготовок // ВАТ «Черметінформація». Додаток «Сталеплавильне виробництво». Новини чорної металургії за кордоном // М.: Черметінформація. 2003. - С.3–21.
2. Хорб У., Коккендіт Й., Юнг В. Швидкісне лиття сортових заготовок через кристалізатори з параболічної конусністю // Чорні метали. 1998. №5. - с.19–25.

УДК 669.18-412:621.746

Вейс В. І., провідний інженер, [nikusik123@yandex.ru](mailto:nikusik123@yandex.ru)

Пархомчук Ж. В., к.т.н., старший науковий співробітник,  
Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, м. Київ

## ВПЛИВ ІЗОТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ РОЗПЛАВУ НА ФОРМУВАННЯ ЛИТОЇ СТРУКТУРИ СТАЛЕЙ ЗА РІЗНИХ ШВИДКОСТЕЙ ОХОЛОДЖЕННЯ

Відомі дослідження щодо виготовлення виробів за технологіями рео і тиксолиття спрямовані в основному на процеси формоутворення точних виливків з кольорових металів [1, 2]. Питання ж кристалізації і формування литої структури сталей після ізотермічної обробки розплаву в інтервалі температур твердо-рідкого стану і швидкості наступного охолодження практично не досліджувались.

На прикладі сталей 45Л і 45ХГСТФЛ досліджено вплив ізотермічної обробки розплаву в інтервалі температур ліквідус-солідус та режимів нормального і швидкісного охолодження на формування литої структури виливків. Розплави досліджуваних сталей, отримані виплавою в індукційних печах, підстужували до нормальної температури розливки (1520 °С) і заливали у ливарні форми з різною тепловідбіркою здатністю після чого здійснювались безперервне охолодження від температури розливки або охолодження після ізотермічної обробки (15 хвилин) в області температур твердо-рідкого стану.

Металографічними дослідженнями металу сталей, що кристалізувались за умов ізотермічної обробки і регламентованих режимів наступного охолодження ( $V_{ox} = 5, 45, 350$  і  $650$  °С/с) встановлено закономірні зміни їх литої структури (рис. 1). Так, при невисоких швидкостях охолодження ( $V_{ox} = 5$  і  $45$  °С/с) після ізотермічної витримки у підліквідусній області температур спостерігається деяке збільшення розмірів зерна (на 1 номер) порівняно із структурами сталей безперервного охолодження. Застосування же режиму швидкого охолодження після термічної обробки розплаву ( $V_{ox} = 350$  і  $650$  °С/с) зумовлює суттєве

подрібнення зерна (на 2-3 номери) і формування більш однорідної литої структури сталей.

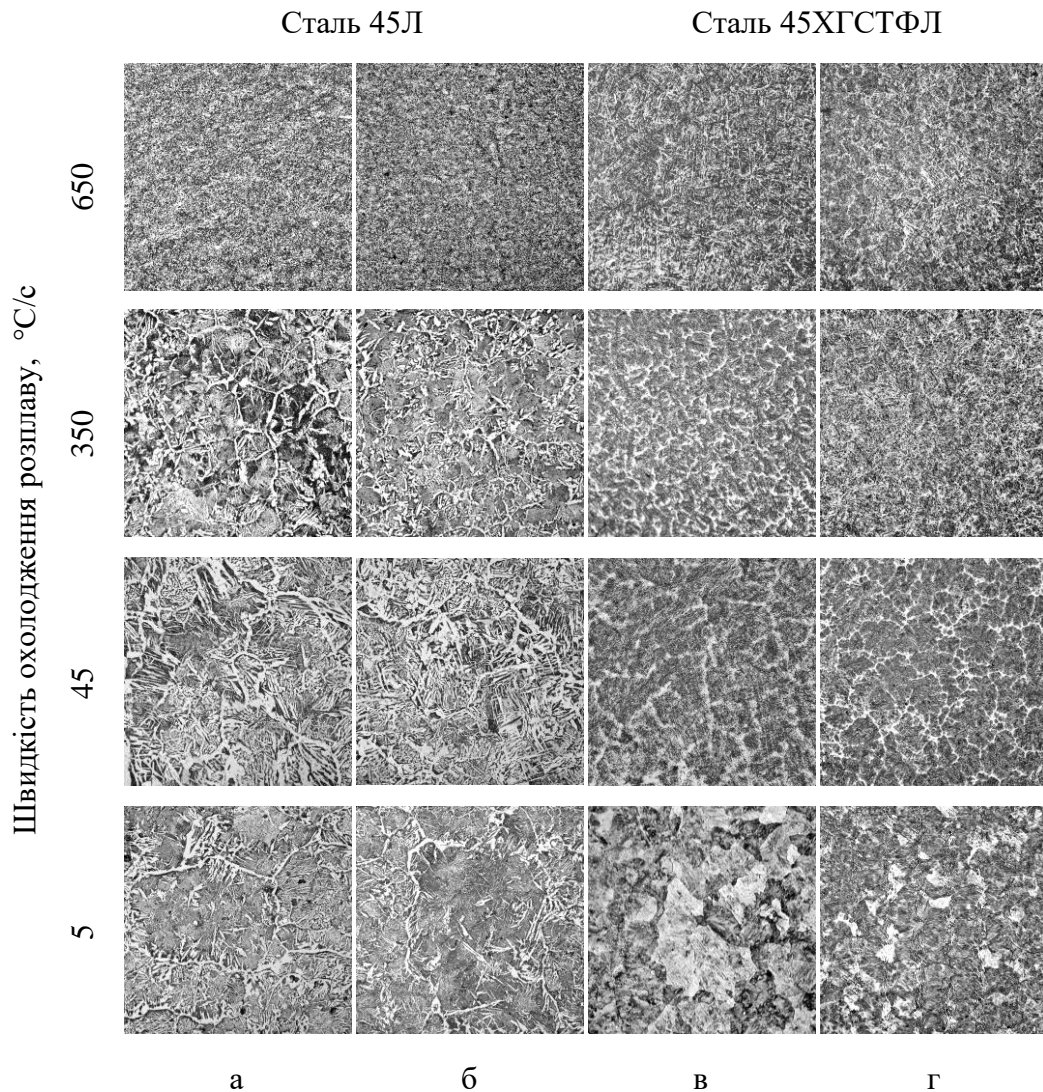


Рис. 1. Зміна структури сталей залежно від температурно-часових умов обробки розплаву в інтервалі твердо-рідкого стану. а, в – при безперервному охолодженні; б, г – після ізотермічної обробки.  $\times 100$

#### Список літератури:

1. Семенов Б.И., Мельников Н.А. Принципы и техпроцессы получения точных заготовок из сплавов, находящихся в твердо-жидком состоянии // *Металлургия в машиностроении*. – 2001. – № 1. – С. 36 – 43.
2. Семенов Б.И. Производство изделий из металла в твердо-жидком состоянии. Новые промышленные технологии // *Учебн. пособие Б.И. Семенов, К.М. Куштаров*. – М.: Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2010. – 223 с.



УДК 621.793.7

Калюжний С. М. мол. науковий співробітник, [microplazma@gmail.com](mailto:microplazma@gmail.com)

Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона, Київ

## МІКРОПЛАЗМОВЕ НАПИЛЕННЯ ПОКРИТЯ З ЦИРКОНІЄВОГО СПЛАВУ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ МЕДИЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

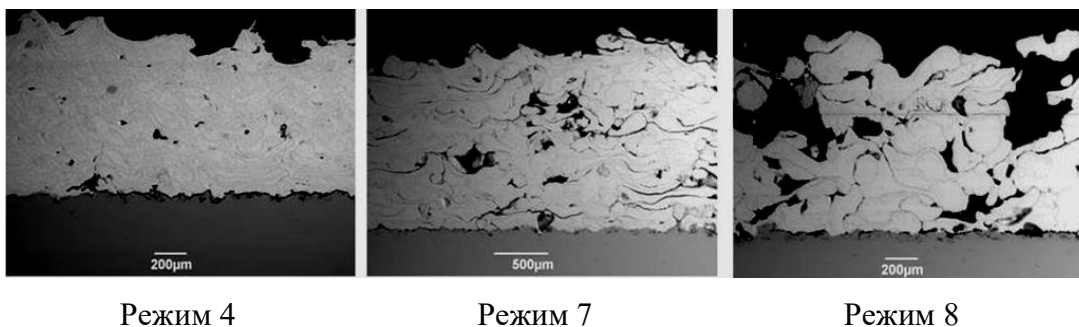
Останнім часом розглядається перспективність застосування цирконію та його сплавів в якості матеріалу для ендопротезів з огляду на його біоінертність, яка не впливає на ріст кісткових та м'яких тканин, а також не викликає видимих морфологічних змін внутрішніх органів [1-4]. Разом з тим, незважаючи на прогрес у використанні цирконію та його сплавів в медицині, недостатню увагу приділено вивченню цирконієвих покриттів та технологій їх нанесення на різні поверхні деталей ендопротезів.

В рамках даної роботи було проведено дослідження впливу параметрів мікроплазмового напилення (МПН) на формування структури покриттів із Zr дроту марки КТЦ-110, діаметром 0,3 мм. Покриття з Zr дроту напилювали на зразки розміром 10×15 мм із сплаву Вt6 мікроплазмовим методом згідно матриці математичного планування (Табл. 1).

Таблиця 1. Матриця планування експерименту при МПН із Zr-дроту

Режим №	I, А	Q <sub>пл</sub> , л/ГОД	H, мм	V <sub>др</sub> , м/хв
1	26	240	120	4,8
2	26	240	40	2,9
3	26	160	120	2,9
4	26	160	40	4,8
5	16	240	120	2,9
6	16	240	40	4,8
7	16	160	120	4,8
8	16	160	40	2,9

Аналіз структури (Рис. 1) мікроплазмових цирконієвих покриттів показав, що в залежності від підбору технологічного режиму мікроплазмового напилення Zr-дроту можливо отримувати покриття з керованою пористістю в діапазоні 2,8...20,3% та розміром пор до 300 мкм (Табл.2).



*Рисунок. 1 Мікроструктури цирконієвих покриттів*

*Таблиця 2. Пористість Zr покриттів в залежності від режимних параметрів МПН*

№ режиму напilenня	1	2	3	4	5	6	7	8
Пористість, %	3,5	4	6	2,8	8,7	3,6	8,3	20,3

Наявність пор такого розміру в покриттях ендопротезів, сприятиме проростанню кісткової тканини та надійне закріплення ендопротеза в кістці.

#### **Список літератури:**

1. Сравнительная характеристика материалов, применяемых в стоматологической имплантации / А.А. Егоров, М.Н. Дровосеков, А.М. Аронов, О.М. Рожнова, О.П. Егорова // Бюллетень сибирской медицины – 2014. том 13, № 6, – С. 41-47
2. Цирконий для эксплантатов в травматологии и ортопеди / Ю.Г. Шапошников, К.М. Шерепо и др. // Ортопедия, травматология и протезирование. – Харьков. 1993. – № 1. – С. 31-33.
3. Лукьянченко В.В. Металлы в имплантологии / В.В. Лукьянченко, М.Г. Малясова // Ортопедия, травматология и протезирование. – Харьков. 2010. – № 3. - С. 130-132.
4. Шерепо К.М К вопросу о применении циркониевых сплавов для эндопротезов и средств остеосинтеза / К.М. Шерепо, А.Б. Парфенов, И.С. Зусманович // Ж. Медицинская техника. – Москва. 1992. – № 5 – С. 14-16.

УДК 669.15-194.3

**Костецький Ю. В.**, професор кафедри ФХОТМ, д.т.н,  
НТТУ "Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського"  
**Тацький Є. В.**, аспірант,  
НТТУ "Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського"

### **ЕЛЕКТРОШЛАКОВИЙ ПЕРЕПЛАВ ВИСОКОМІЦНИХ ПЛАСТИЧНИХ СТАЛЕЙ СИСТЕМИ Fe-Mn-Al-C**

Одним зі способів зменшення маси виробу в автомобілебудуванні, авіаційній та оборонній промисловості є заміна матеріалу з якого він виготовляється на більш легкий. Однак часто більш легкий матеріал одночасно зі зменшенням маси або не забезпечує еквівалентних механічних характеристик кінцевого виробу, або значно збільшує його вартість. Тому актуальною проблемою залишається створення нових, як за структурою так і за фазовим складом, матеріалів, що забезпечують високі механічні характеристики з одночасним зменшенням ваги кінцевого виробу.

Одним з таких матеріалів, що забезпечує вирішення даної проблеми є новітні високоміцні пластичні сталі системи Fe-Mn-Al-C. Ці сталі мають високу міцність на розрив та високу пластичність за кімнатної температури і одночасно зменшену питому вагу, за рахунок високого вмісту алюмінію.

Важливими проблемами, що виникають під час виробництва таких сталей, є формування крупнозернистої литої структури, та розвиток ліквацій, що впливає на межу текучості. Тому забезпечення структурної однорідності високоміцних сталей системи Fe-Mn-Al-C є важливим завданням під час їх виробництва. Також, через високий вміст алюмінію та мангану в металі створюються умови для утворення значної кількості неметалевих включень, що негативно впливає на його механічні властивості.

Одним з шляхів вирішення вказаних проблем є застосування електрошлакового переплаву отриманих литих заготовель. ЕШП здатний забезпечити рафінування металу від неметалевих включень, а також формування

злитка з більш однорідною структурою. Однак особливості електрошлакового переплаву аустенітних сталей системи Fe-Mn-Al-C поки що вивчені недостатньо. Зокрема немає чіткого розуміння щодо тому впливу умов переплаву на макро та мікроструктуру даних сплавів та їх фазовий склад, впливу технологічних параметрів переплаву на ефективність рафінування металу, легованого значною кількістю мангану і алюмінію, від неметалевих включень.

Дане дослідження визначає вибір шлакового режиму та фізико-хімічних умов переплаву сталей Fe-[15-30%]Mn-[8-12%]Al-[0,5-1,3%]C, що забезпечують отримання злитка заданого хімічного складу з контрольованим вмістом неметалевих включень.

Отримані результати створюють підґрунтя для створення технології електрошлакового переплаву аустенітних сталей системи Fe-Mn-Al-C, яка може бути впроваджена на металургійних підприємствах України, зокрема на ПрАТ «Дніпроспецсталь».

УДК: 669.35; 669.292.5

Ліхацький Р.Ф., аспірант, [richard.kpi@outlook.com](mailto:richard.kpi@outlook.com)

Ворон М.М., к.т.н., ст.. наук. співр.

ФТІМС НАН України, м. Київ

## ОДЕРЖАННЯ СПЛАВІВ СИСТЕМИ Cu-V ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВОЮ ПЛАВКОЮ

Сплави міді виділяються серед інших високою тепло- та електропровідністю, що робить їх основними матеріалами провідників та контактів в електротехніці. Підвищені вимоги до металу, що пред'являються розвитком сучасної техніки (в першу чергу, машинобудівною галуззю та електротехнічною промисловістю), потребують вивчення питань підвищення властивостей мідних сплавів, в тому числі за рахунок легування [1]. З метою отримання сплаву, що поєднує одночасно високі характеристики міцності та електропровідність мідь легують елементами, що зміцнюють її без значного зниження електропровідності [2].

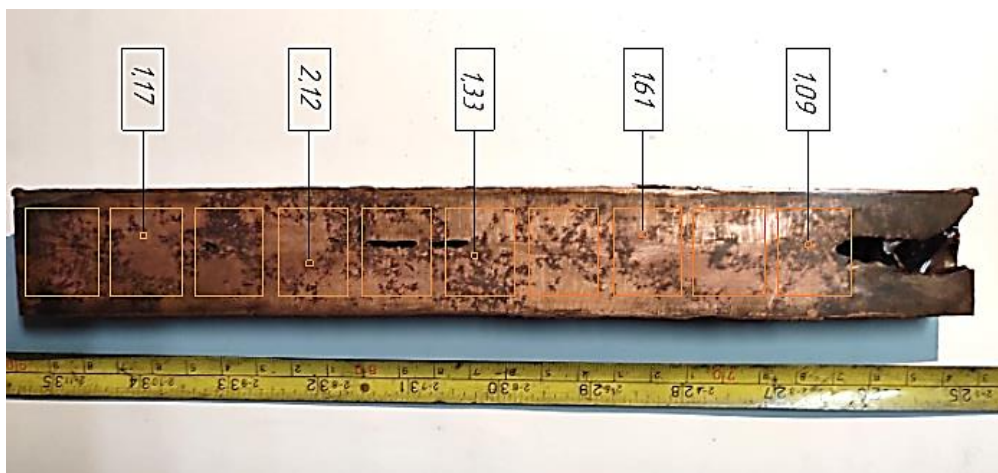
Серед легуючих елементів, що можуть значно покращити жароміцність, механічні властивості мідного сплаву зі збереженням електропровідності варто виділити ванадій та деякі інші нерозчинні в міді метали. Такі компоненти виконують роль дисперсних зміцнюючих частинок, які гальмують рух дислокацій. В той же час, нерозчинність компонентів забезпечує збереження електропровідності чистої міді. Створення таких дисперснозміцнених сплавів методами порошкової металургії поки що є найбільш поширеним у зв'язку зі своєю простотою та надійністю, проте вартість виробів, одержаних за такими технологіями залишається досить високою. На відміну від порошкової металургії, виготовлення мідь-ванадієвого сплаву ливарними методами може дозволити отримати вилівки зі значно меншою собівартістю та за більш простим технологічним ланцюгом.

Серед усіх підходящих для вирішення даної задачі ливарних технологій, можна виділити метод електронно-променевої гарнісажної плавки, який має

незалежне концентроване джерело нагріву та можливість здійснювати електромагнітне перемішування розплаву у вакуумі. Даний спосіб дозволяє суттєво перегрівати розплав, в тому числі до області гомогенності у випадку монотектичних систем, до яких відносяться Cu-V, Cu-Cr, Cu-Fe-C та ін.

Авторами було проведено експерименти з одержання зразка сплаву Cu-V, виплавленого і залитого в умовах електронно-променевої ливарної технології. В якості шихти використовували відходи електротехнічної міді та ванадієву стружку. Приготування розплаву вели у вакуумі, спочатку розплавляючи ванадій. Після повного розплавлення всієї шихти безперервно перемішували рідкометалеву ванну електромагнітним полем, за рахунок чого розплав мав емульсійну будову. Заливку розплаву проводили з температури  $\sim 1300$  °C, що відповідало  $\sim 2$  % мас. розчинення ванадію в міді, в сталевий кокіль.

В результаті було одержано вилівок циліндричної форми, з якого виготовили темплет (зображено на рисунку) для дослідження макроструктури, хімічного складу та розподілу ванадію в об'ємі вилівка. Темним ділянкам відповідає скупчення часток-крапель ванадію, чий розподіл має нерівномірний хвилястий характер. Середній вміст ванадію складає  $\sim 1,6$  % мас. Осьова усадка в центрі зразка та плівка ванадію на поверхні усадки верхньої частини свідчать про недостатньо швидку кристалізацію.



*Будова вилівка з хімічним складом зон (вказано вміст ванадію у % мас.)*

Таким чином, зменшення вмісту ванадію та прискорення кристалізації може призвести до його кращого розподілення та більш рівномірної будови виливків.

**Список літератури:**

1. Николаев А.К. Медь и жаропрочные медные сплавы: энцикл. терминолог. слов.: фундаментальный справ. / А.К. Николаев, С.А. Костин. – Москва: ДПК Пресс, 2012. – 715 с.
2. Шаньгина Д. В. Закономерности получения ультрамелкозернистых медных сплавов с повышенными прочностными и эксплуатационными свойствами: дис. канд. техн. наук : 05.16.01 / Шаньгина Д. В. – Москва, 2018. – 142 с.

УДК: 669.35; 669.265; 669.296

Ліхацький Р.Ф., аспірант, [richard.kpi@outlook.com](mailto:richard.kpi@outlook.com)

Ліхацький І.Ф., інженер-техн. I к.

ФТІМС НАН України, м. Київ

## ОТРИМАННЯ СПЛАВІВ СИСТЕМИ Cu-Cr-Zr В УМОВАХ ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВОЇ ЛИВАРНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ

Широке поширення міді в електротехнічній промисловості зумовлене її високими параметрами тепло- і електропровідності. Однак провідникові матеріали повинні володіти не лише високою електропровідністю, але і мати підвищену міцність як при кімнатній, так і при підвищених температурах.

Для отримання матеріалу, що поєднує одночасно високі міцнісні характеристики та електропровідність застосовується легування міді елементами, що зміцнюють її без значного зниження електропровідності [1]. Формування сплавів з твердорозчинним зміцненням малоефективне, так як при розчиненні легуючих елементів в міді відбувається підвищення її електроопору. Винятком є срібло, що призводить до помітного твердорозчинного зміцнення без істотного зниження електропровідності. Відомо, що сплави Cu-Ag мають високі механічні властивості та електропровідність, проте їх вартість не вважається виправданою для широкого застосування [2].

Найбільш доцільним є зміцнення міді за рахунок дисперсійного зміцнення, які є нерозчинними, або малорозчинними в металі-основі при високих температурних та електричних навантаженнях. В цьому випадку можна отримати матеріал з матрицею з чистої міді, що володіє підвищеною електропровідністю, і частинками вторинних фаз, що забезпечують підвищені механічні та експлуатаційні властивості.

Одним з кращих кандидатів для електротехнічних матеріалів можуть бути сплави системи Cu-Cr-Zr, що одночасно поєднують розумну вартість з високою міцністю і електропровідністю [3]. Такі сплави, наприклад Cu-1Cr-0,1Zr, є термічно зміцнюваними матеріалами за схемою «гартування-старіння».



Технології виготовлення таких сплавів передбачають суттєві перегріву розплаву та силові впливи для забезпечення повного розчинення цирконію та хрому. Одним з потенційно підходящих способів виготовлення як сплавів так і лігатур для їх одержання є електронно-променева ливарна технологія. В умовах даного методу було зроблено спробу отримати сплав складу Cu-10Cr-1Zr, який надалі можна було б використовувати в якості лігатури.

В якості шихти використовували відходи міді, кусковий хром та іодидний цирконій. Плавку проводили у вакуумі, розплавляючи спочатку цирконій та хром. Після розплавлення всієї шихти розплав перемішували електромагнітним полем, після чого зливали у сталевий кокіл з циліндричною порожниною діаметром 40 мм в висотою 250 мм. Товщина стінок форми складала 30 мм.

Одержаний вилівок мав ліквіації хрому по об'єму у вигляді крапель розмірами 3-6 мм. Нижня частина вилівка містила в своєму складі 1,24 % мас Zr та 0,93 % мас Cr, а верхня – 1% мас Zr, 1% мас 1,3 Cr. Таким чином, можна стверджувати, що описане технологічне рішення не здатне забезпечити умови для створення мідних лігатур з вмістом хрому біля 10 % мас, проте може бути ефективним для одержання литих виробів та напівфабрикатів стандартного складу Cu-1Cr-0,1-1Zr.

#### **Список літератури:**

1. Шаньгина Д. В. Закономерности получения ультрамелкозернистых медных сплавов с повышенными прочностными и эксплуатационными свойствами: дис. канд. техн. наук : 05.16.01 / Шаньгина Д. В. – Москва, 2018. – 142 с.
2. Морозова А. И. Эволюция структуры и физико-механических свойств низколегированных сплавов системы Cu-Cr-Zr в процессе деформационно-термической обработки : дис. канд. физ.-мат. наук : 01.04.07 / Морозова А. И. – Белгород, 2018. – 144 с.
3. Хомская И.В. Исследование структуры, физико-механических свойств и термической стабильности наноструктурированных меди и бронзы, полученных методом ДКУП / И.В. Хомская и др. // Письма о материалах. – 2013.– Т. 3. – С.150–154.

**А.О. Лук'яненко, О.В. Демецька**

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України,  
ДУ «Інститут медицини праці ім. Є.І. Кундієва НАМН України»

**ВИЗНАЧЕННЯ ЦИТОТОКСИЧНОСТІ  
ЗВАРЮВАЛЬНОГО АЕРОЗОЛЮ НА ОСНОВІ ДОСЛІДЖЕНЬ  
БІОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ АЕРОЗОЛІВ**

Для визначення цитотоксичності зразків зварювального аерозолю (ЗА) відпрацьовано методику, яка включає відбирання проб ЗА під час зварювання за допомогою спеціального лабораторного стану з подальшим екстрагуванням в дистильованій воді та визначенням індексу токсичності ( $I_t$ ), що дорівнює відношенню параметрів рухливості суспензії індикаторних клітин в дослідному зразку до параметрів рухливості індикаторних клітин в контрольному зразку. При значення  $I_t$  від 1 до 70% та більше 120% дослідний розчин вважається цитотоксичним.

В даній роботі проводилися дослідження серійних марок низьколегованих зварювальних електродів. Дослідження показали, що серед 4 досліджуваних зразків зварювального аерозолю стійку токсичну дію було виявлено лише у зразка МР-3. Зразки ЗА, відібрані при зварюванні електродами АНО-36 «Monolith», АНО-13, УОНИ-13/55 ( $I_t = 70-120\%$ ) потрапляють у так звану “сіру зону”.

Оскільки дослідження проводилися на однакових режимах та використовували діаметр електроду 4, а хімічний склад ЗА залежить від марки електроду, діаметру, режиму зварювання, виду покриття, то отримані дані індексу токсичності, які потрапляють в “сіру зону” можна пояснити залежністю його ( $I_t$ ) від виду покриття електроду. Так, токсичність ЗА переважно підвищується зі збільшенням у його складі марганцю (НПАОП 0.00-8.11-12 Вимоги до роботодавців щодо захисту працівників від шкідливого впливу хімічних речовин). Під час аналізу результатів досліджень гігієнічного показнику  $LV_{WF(Mn)}$  та індексу токсичності ( $I_t$ ), встановлено однозначний зв'язок, з підвищенням індексу токсичності зменшується гігієнічний показник. Було

проведено дослідження залежності режиму зварювання, індексу токсичності та гігієнічного показнику  $LV_{WF(Mn)}$ . При цьому індекс токсичності також залежить від режиму зварювання, ( $I_{зв}=230A$ ,  $U_{д}=38\div 40B$  –  $I_t=85,25\%$ ;  $I_{зв}=180A$ ,  $U_{д}=32B$ – $I_t=103,4\%$ ;  $I_{зв}=130-120A$ ,  $U_{д}=30\div 32B$  –  $I_t=85,25\%$ ). Таким чином, згідно отриманих даних, індекс токсичності ( $I_t$ ) залежить від режиму зварювання, який змінюється в 1,2 рази. Оскільки дані дослідження потрапляють в «сіру зону», то це свідчить про необхідність проведення обов'язкового хімічного аналізу зварювального аерозолю.

Таким чином, метод експрес-оцінки токсичності для первинної санітарно-гігієнічної оцінки нових покращених марок зварювальних електродів на основі досліджень біологічних властивостей аерозолів є досить актуальною і новою темою в зварювальному виробництві, оскільки використання так званих альтернативних токсикологічних моделей (культур клітин, експрес-тестів та ін.) дозволяє одержувати інформацію щодо токсичності та небезпеки хімічних сполук й матеріалів менш затратними способами чи підходами, в коротші строки.

УДК 621.791.92.02

**Майданчук Т. Б.**, к. т. н., зав. відділу ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України,

[maydanchuk\\_taras@ukr.net](mailto:maydanchuk_taras@ukr.net)

ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України, м. Київ

### **НОВІ ЗВАРЮВАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ РЕМОНТУ ВИРОБІВ З ЛИВАРНИХ СКЛАДНОЛЕГОВАНИХ БРОНЗ**

В ряді галузей промисловості широке застосування знаходять складнолеговані ливарні бронзи, які мають високі функціональні властивості: механічні та антифрикційні, корозійну стійкість в атмосферних та агресивних середовищах, стійкість до кавітації та ін. Незважаючи на розвинені науково-практичні напрацювання в області ливарного виробництва не завжди вдається отримати бездефектні виливки. В зв'язку з цим актуальною є задача ремонту дефектів литва та відновлення спрацювання деталей з використанням зварювальних технологій.

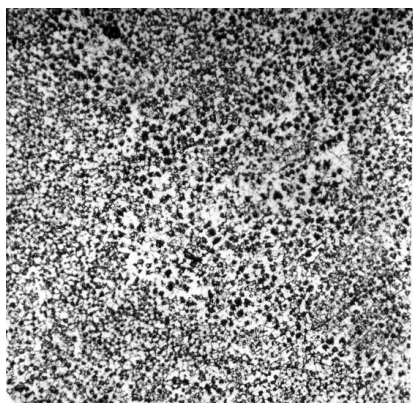
Найбільш широке та доступне застосування знаходять дугові способи заварки дефектів литва (плавким електродом в інертних газах MIG, вольфрамовим електродом в інертних газах TIG, ручне дугове зварювання покритими електродами MMA, зварювання під флюсом SAW). При цьому використання того чи іншого способу залежить від характеру дефекту (зношування), габаритних розмірів та розташування. Застосування механізованих процесів ускладнюється в зв'язку з відсутністю виготовлення зварювальних дротів необхідного хімічного складу. Враховуючи дану проблему, в ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України виконаний\* комплекс науково-дослідних робіт по вивченню особливостей зварювання складно легованих бронз та створенню електродних матеріалів, які забезпечують склад наплавленого металу, близький до основного. При цьому службові властивості наплавленого металу, як правило, знаходяться на рівні або перевищують показники ливарної бронзи аналогічного складу, що обумовлено більш дрібнозернистою структурою металу. Мікроструктура наплавленого металу алюмінієвих та олов'яних бронз приведена на рисунку 1.

*\*В роботі приймали участь к.т.н. Ілюшенко В.М., інж. Аношін В.О., інж. Бондаренко А.М.*

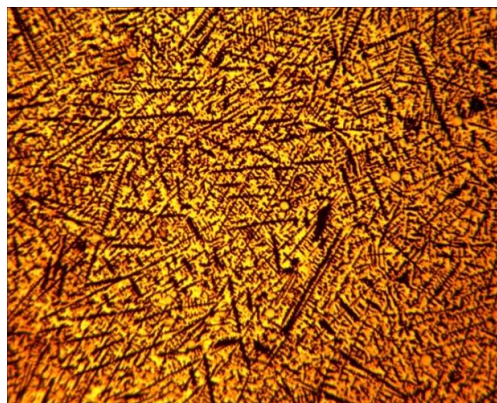
В таблиці 1 приведено хімічний склад металу, наплавленого з використанням розроблених зварювальних матеріалів.

*Таблиця 1. Хімічний склад наплавленого металу розробленими зварювальними матеріалами*

Алюмінієві бронзи							Спосіб зварювання
№	Тип зварювального матеріалу	Хімічний склад наплавленого металу (середні значення), %					
		Al	Mn	Ni	Fe	Cu	
1	Порошковий дріт	7,5	0,56	0,75	2,1	залишок	MIG, SAW
2		8,5	0,7	0,8	2,2		
3		9,9	0,85	1,2	3,0		
4		8,9	10,7	1,5	2,6		
5	Композитний порошок дріт	8,2	1,1	2,0	2,8		
6		6,5	9,8	1,8	2,5		
7	Покриті електроди	≥7,5	2,0	1,0	-		MMA
Олов'яні бронзи							
8		Sn	P	Mn	Cu		
9	Порошковий дріт	9,5-10,5	0,4-0,5	-		TIG, SAW	
10	Покриті електроди	АНБО-1	6,0-8,0	0,2-0,5	0,6-0,9	залишок	MMA
11		АНБО-2	9,0-11,0	0,5-0,8	0,5-0,8		



Алюмінієва бронза БрАЖНМц



Високоолов'яна бронза БрОФ10-1

*Рисунок 1. Мікроструктура наплавлених бронз x50*

Як показали дослідження макро- та мікроструктури, розроблені зварювальні матеріали забезпечують високу якість наплавленого металу та відсутність пор, тріщин, неметалевих включень.

Успішне промислове опробування нових зварювальних матеріалів при зварці дефектів литва олов'яних та алюмінієвих бронз дозволяє рекомендувати їх для широкого промислового застосування.

УДК 621.791.052: 539.431.2

**С. І. Мотруніч<sup>1</sup>**, ст. н. с., [paton.testlab@gmail.com](mailto:paton.testlab@gmail.com)

**Б. І. Мотруніч<sup>2</sup>**, аспірант

**М. М. Димань<sup>1</sup>**, н. с.

<sup>1</sup>*Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України*

<sup>2</sup>*Київський національний університет імені Тараса Шевченка*

## **ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ОПОРУ ВТОМИ ТОНКОЛИСТОВИХ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ ПРИ РЕГУЛЯРНОМУ ТА ВИПАДКОВОМУ ЦИКЛІЧНОМУ НАВАНТАЖЕННІ**

Зменшення металоємкості виробів з високими експлуатаційними характеристиками та ресурсом є важливим і актуальним напрямком розвитку сучасної техніки. Алюмінієві сплави, що відрізняються високою питомою міцністю, значною корозійною стійкістю, високим опором дії повторних навантажень і малою швидкістю поширення втомних тріщин широко використовуються при виготовленні зварних конструкцій та їх елементів в різних областях машинобудування. Для отримання таких з'єднань у більшості випадків застосовуються технології аргоно-дугового зварювання неплавким електродом (АДЗНЕ), та для термічнозміцнених алюмінієвих сплавів застосовують, також, технології зварювання з меншим тепловим вкладенням, такі як зварювання в твердій фазі тертям з перемішуванням (ЗТП) та електронно променеве зварювання (ЕПЗ). Одним з найважливіших критеріїв при проектуванні конструкції, є термін її безпечної експлуатації, а прогнозування залишкового ресурсу має проводитися індивідуально по відношенню до кожного конкретного технічного об'єкту, що експлуатуються в умовах дії змінних навантажень. При цьому важливо врахувати особливості навантаження об'єкта, яке в більшості випадків представляє собою випадковий процес циклічного навантаження з розподілом величини амплітуди напружень за певним законом.

Для обробки вузькосмугового випадкового процесу циклічного навантаження, яке реально діє на конструкцію, розроблено програмне

забезпечення з метою формування блок-програмного навантаження зразків з'єднань еквівалентного за пошкоджуваністю діючому спектру циклічного навантаження із змінними амплітудами. Створене програмне забезпечення, що базується на «Rainflow Counting» методі оброблення спектрів циклічних навантажень із змінними в часі амплітудами. Також, запропоновано алгоритм побудови кривих втоми зварних з'єднань при дії вузькосмугового процесу випадкового змінного навантаження для їх співставлення з відповідними кривими втоми з'єднань, отриманих при регулярному навантаженні, які в основному і представлені в науковій літературі.

Досліджено структурні особливості, механічні властивості, рівень залишкових напружень і розміщення в зоні термічного впливу для з'єднань алюмінієвого сплаву Д16Т1, виконаних АДЗНЕ і ЗТП та сплаву 7056, виконаних ЕПЗ. Встановлені закономірності опору втоми при регулярному навантаженні та отримано криві втоми Гаснера для вузькосмугового випадкового процесу навантаження з наближеною до нормального розподілу Гауса величиною амплітуди напруження



УДК 669.182.4.621.747.53

**Нейма О. В.**, молодший науковий співробітник, E-mail: [Neima\\_Alex@ukr.net](mailto:Neima_Alex@ukr.net)

**Михнян О. В.**, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник  
Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ

## **ЗАСТОСУВАННЯ ПІНОКЕРАМІЧНИХ ФІЛЬТРІВ ПРИ ЛИТТІ ДЕТАЛЕЙ ГТД В ОБОЛОНКОВІ ФОРМИ, ОДЕРЖАНІ ЗА ППС МОДЕЛЯМИ**

Зростаючі вимоги до експлуатаційних характеристик литих деталей ГТД, виготовлених з жароміцних сплавів на нікель-кобальтовій та кобальто-хромовій основі, змушують відшукувати резерви, що дозволяють скоротити кількість шкідливих домішкових елементів, неметалевих вкраплень, газів у розплаві в період заповнення їм порожнини ливарної форми. Така технологічна можливість з'являється при внутрішньоформенному фільтраційному очищенні розплаву за допомогою фільтруючих вузлів з пінокерамічними фільтрами.

Для виробництва точних деталей (зокрема, лопаток ГТД) перспективним є спосіб лиття за пінополістироловими (ППС) газифікованими моделями в оболонкових керамічних формах. Для запобігання насичення поверхні форми, та як наслідок і виливків, продуктами газифікації ППС моделей авторами запропоновано комбіноване застосування методу лиття за моделями, що випаляються і випалювання ППС.

Метою дослідження було розроблення комплексного технологічного процесу, що включає цикли виплавляння, рафінування розплаву з використанням внутрішньоформенного фільтрування через пінокерамічний фільтр та кристалізацію виливків в оболонковій формі, виготовленої за допомогою ППС-моделей, що видаляються за комбінованою технологією.

Дослідження проведені на серійних жароміцних сплавах марок СМ104-ВІ та СМ88У для суднових, та енергетичних ГТД, оптимізованих додатковим легуванням Та і Re. Моделі деталей та дослідних зразків виготовлялися з двох типів ППС: блочного та екструдованого. Перед заливанням у ливникову систему було вбудовано пінокерамічний фільтр з поруватістю до 85 % з розробленого за

участю авторів більш термічно- та хімічно стійкого складу кераміки з оптимальними характеристиками: діаметр пор (комірки) 2 мм при товщині фільтра 20 мм, початкова температура підігріву  $T_{\text{фільтра}} = 950 \text{ } ^\circ\text{C}$ ,  $T_{\text{розплаву}} = 1550 \text{ } ^\circ\text{C}$  для обох типів сплаву.

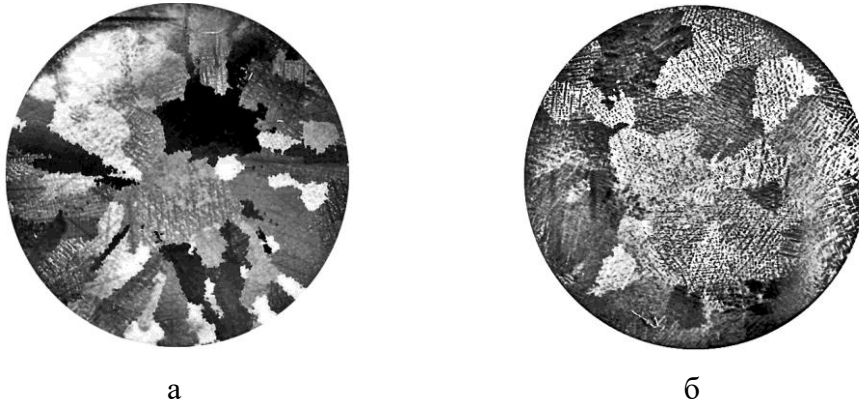


Рис. 1. Макроструктура виливків зі сплаву SM104-VI + (Ta + Re) в стані після лиття. а – до фільтрування; б – після фільтрування.  $\times 4$

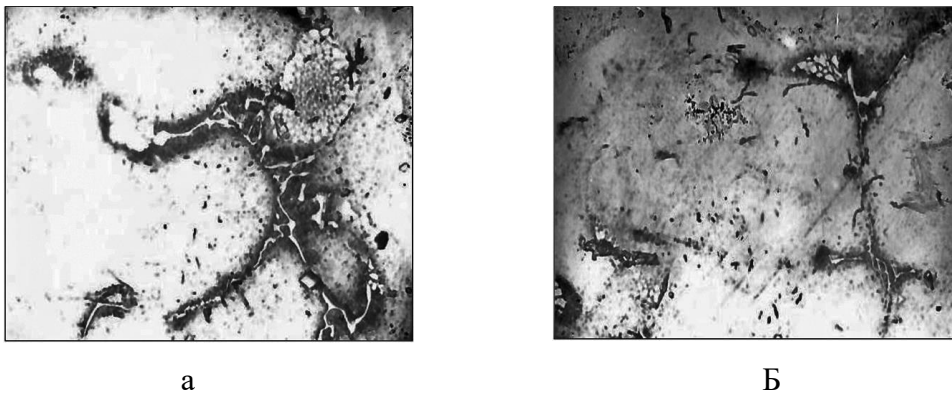


Рис. 2. Мікроструктура виливків зі сплаву SM104-VI + (Ta + Re) в стані після лиття. а – до фільтрування; б – після фільтрування.  $\times 400$ .

Дослідження макроструктури показало зменшення розміру (кристалів) зерна у зразках після фільтрації, у порівнянні зі зразками, отриманими за звичайною технологією (рис. 1, 2). Ливарних дефектів у вигляді розсіяних раковин усадки не виявлено при всіх режимах фільтрації та заливання. Спостерігається зниження інтенсивності забруднення неметалевими

вкрапленнями та газами. Внаслідок очищення границь зерен від вкраплень оксидів, оксі- та карбонітридів, спостерігається зменшення розмірів зерна, подрібнення евтектичних виділень  $\gamma - \gamma'$ .

Запропонована комбінована технологія, що включає виготовлення ливникової системи з воскоподібних матеріалів, що витоплюються, та використання ППС моделей, що випаляються для отримання деталей, сприяє підвищенню розмірної точності виливків (в середньому на 1 – 2 класи).

УДК 669.18-412:621.746

**Пархомчук Ж. В.**, к.т.н., старший науковий співробітник, [zhannochkaaa@ukr.net](mailto:zhannochkaaa@ukr.net)

**Вейс В. І.**, провідний інженер

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, м. Київ

## **ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРНО-ЧАСОВИХ ПАРАМЕТРІВ ПЛАВЛЕННЯ ТА КРИСТАЛІЗАЦІЇ НА ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ СТАЛІ**

За допомогою методу фізичного моделювання встановили основні закономірності формування литої структури залежно від термодинамічних параметрів обробки і кристалізації розплаву. Дослідження проводили на модельному сплаві камфен з трицекленом в співвідношенні 9:1. Температурно-часові параметри при проведенні експериментів вибирали відповідно до існуючих методик моделювання процесів кристалізації сталей, зокрема для сталі 45Л.

Моделюючий матеріал з температурами ліквідус 42 °С і солідус 39 °С перегрівався в температурному інтервалі 44-50 °С. Такий перегрів модельного матеріалу відповідає перегріву розплаву сталі над ліквідус на 40-160 °С. Швидкість охолодження модельного матеріалу становила 45 °С/хв, 75 °С/хв та 95 °С/хв, що відповідає швидкостям охолодження розплаву сталі 5 °С/с, 100 °С/с і 350 °С/с відповідно. Встановлено, що підвищення температури перегріву над ліквідус вище 45 °С для модельного сплаву сприяє суттєвому збільшенню розмірів кристалів при кристалізації зі швидкістю охолодження 45 °С/хв. Це відповідає рекомендованому інтервалу температур розливання розплавів сталей з перегрівом вище ліквідусу не більше 30-50 °С. Відомо, що при більш високих температурах перегріву, розмір зерна і кількість неметалічних фаз в виливках збільшується, але при збільшенні швидкості охолодження модельного сплаву під час кристалізації до 75 °С/хв і 95 °С/хв відбувається подрібнення литої структури в 2-3 рази для всіх досліджуваних ступенів перегріву. Таке явище пояснюється утворенням більшої кількості зародків кристалізації в умовах істотного переохолодження, і, як наслідок, формування нерівноважного фазово-структурного стану модельного матеріалу [1].

Встановлено також зміни дендритних структур сплаву залежно від зміни термодинамічних параметрів (температури і швидкості охолодження). При максимальному перегріві модельного розплаву ( $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) і швидкості охолодження  $45\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{хв}$  показник дисперсності дендритних структури досягає  $50\text{ мм}^{-1}$ , а при такому ж перегріві і швидкості охолодження при кристалізації  $95\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{хв}$  –  $76\text{ мм}^{-1}$ . Таким чином, структуру перегрітого металу можливо подрібнити за рахунок високих швидкостей тепловідбору при кристалізації.

Встановлено, що незалежно від швидкості охолодження при кристалізації, збільшуються в 1,5-2 рази розміри кристалів (зерен) в структурі модельного матеріалу при проведенні ізотермічної обробки при температурах, близьких до середини інтервалу між ліквідус і солідус ( $41\text{-}44\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Це свідчить про переважаючий процес росту кристалів над процесом їх зародкоутворення [2]. З цього випливає, що ізотермічна обробка розплаву сприяє подрібненню литої структури лише при застосуванні її в інтервалі температур ліквідус – зона під ліквідусом ( $41\text{-}42\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Кращий результат досягається при комбінуванні ізотермічної обробки зі швидкісним охолодженням розплаву під час його кристалізації. При цьому інтенсивно утворюються і накопичуються зародки кристалізації і максимально гальмується процес росту кристалів швидкісним тепловідбором при кристалізації

#### **Список літератури:**

1. Эльдарханов А. С., Ефимов В. А., Нурадинов А. С. Процессы формирования отливок и их моделирование. – М.: Машиностроение, 2001, 208 с.
2. Баум Б.А., Тягунов Г.В., Барышев Е.Е., Цепелев В.С. Фундаментальные исследования физико-химии металлургических расплавов. – М.: ИКЦ Академкнига, 2002. – С. 214 – 228.

УДК 621.762:669.1.017:620.18

**Пінчук М. О.**, молодший науковий співробітник,

[pinchukipm14@gmail.com](mailto:pinchukipm14@gmail.com)

**Тимошенко Я. Г.**, к.т.н., науковий співробітник

Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України, Київ

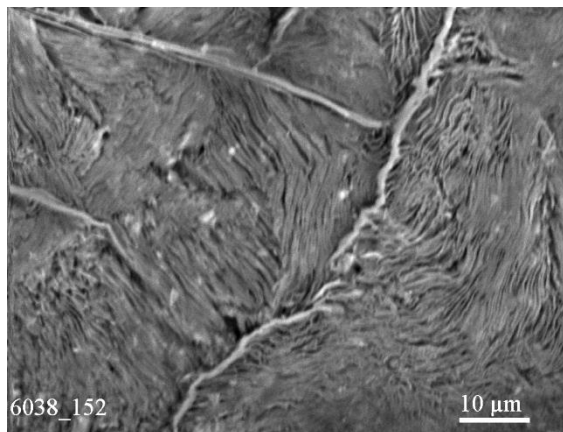
## **СПЛАВ НА ОСНОВІ ЗАЛІЗА МОДИФІКОВАНИЙ ВУГЛЕВМІСНИМ ПОРОШКОВИМ КОМПОЗИТОМ**

Метою даної роботи є розробка підвищених характеристик зносостійкості залізних сплавів за рахунок модифікування їх вуглевмісними порошковими лігатурами.

В якості вихідних компонентів використовували порошок заліза марки ПЖР4 і синтезований композиційний порошок (лігатура), утворений при взаємодії нанорозмірного карбіду хрому [1] з порошком заліза в співвідношенні 1:1, при 1400 °С у аргоні. Плавлення порошку Fe з додаванням масової частки лігатури 10% проводили в індукційній печі при 1750 °С.

Виявлено, що взаємодія компонентів в системі  $Cr_7C_3$ -Fe призводить до формування фаз твердого розчину заліза в карбіді хрому та вуглецю зі складною структурою типу скелетону:  $(CrFe)_7C_3$  та C (G).

Було досліджено вплив синтезованої вуглевмісної порошкової лігатури в системі  $Cr_7C_3$ -Fe на структуру та властивості сплавлених металевих композитів на основі заліза. Встановлено, що додавання лігатури до порошку заліза у кількості 10 % (мас.) сприяє формуванню високодисперсної перлітної структури. Розміри пластинчатих утворень карбіду заліза не перевищує 0,5 мкм в поперечині. Також спостерігаються евтектичні подовгугваті утворення, що розміщуються переважно по границям дисперсних зерен. Товщина таких евтектик не перевищує 1,0–1,5 мкм, а їх розгалужена довжина складає до 100 мкм (рис.1).



*Рисунок 1. Типовий фрагмент мікроструктури металевого композиту на основі заліза, утвореного з додаванням лігатури*

Встановлено, що сплавлений металевий композит на основі заліза, утворений з додаванням лігатури, характеризується вищою стійкістю до абразивного зношування в умовах сухого тертя майже у 2 рази у порівнянні з промисловою конструкційною вуглецевою сталлю звичайної якості СтЗсп (табл.1).

*Таблиця – Характеристики трибологічних досліджень металевого композиту на основі заліза, утвореного з додаванням лігатури та промислової сталі*

Вміст лігатури, %(мас.)	Відносна втрата маси, $\Delta m/m$ , %	HV 0,2, ГПа	HV 5,0, ГПа
10	1,19	4,2	3,5
СтЗсп	2,30	1,3	-

Таким чином, модифіковані синтезованою вуглевмісною порошковою лігатурою в системі  $Cr_7C_3-Fe$  металеві композити характеризуються підвищеною стійкістю до абразивного зношування та твердістю за рахунок формування високодисперсної перлітної структури.

#### **Список літератури:**

1. Пінчук М.О., Гадзира М.П., Гнилиця І.Д. Особливості синтезу карбіду хрому з використанням різних форм вуглецю // Порошковая металлургия.– 2017.– №9,10.– С. 34-39.

**Погребач Є. В.**, аспірант, e-mail: x1an@ukr.net

**Шевчук Т. В.**, аспірант, e-mail: shevchouk@gmail.com

**Коломійцев С. В.**, аспірант, e-mail: 0507032994@ukr.net

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ

## **ОСОБЛИВОСТІ МОДЕЛЮВАННЯ ВЗАЄМОДІЇ РІДКОГО МЕТАЛУ З ПІНОПОЛІСТИРОЛОВОЮ МОДЕЛЛЮ У ЛИВАРНІЙ ФОРМІ**

В основі технології комп'ютерного моделювання ливарних процесів лежить уявлення геометрії модельованого об'єкта в 3D-параметричній формі.

Серед найбільш поширених зарубіжних систем комп'ютерного моделювання ливарних процесів в Україні можна виділити наступні програмні продукти: ProCast (США), MagmaSoft (Німеччина), WinCast (Німеччина), LVMFlow (Росія) [1].

Комп'ютерне моделювання дає можливість спостерігати заповнення ливарної форми металом, затвердіння виливка, формування теплових вузлів і усадочних дефектів, виявляти місця утрудненої усадки й можливе утворення тріщин при кристалізації, прогнозувати механічні властивості. При цьому майже всі програмні продукти призначені для моделювання процесу лиття в порожнинні форми, металеві або піщано-глинисті. Винятком є система ProCast, яка має опцію Lost Foam для розрахунку лиття за моделями, що випаляються. Завдяки цій опції з'являється можливість прогнозувати появу таких дефектів: внутрішніх дефектів в литві і холодних спаїв від продуктів наявності продуктів термодеструкції моделі; поява протитиску, який створюється газами; - надмірне падіння температури в металі унаслідок малої швидкості заповнення, що веде до утворення складок і недоливів [2].

При цьому температурні градієнти, що виникають у металі під час заповнення форми та затвердіння виливка при процесі лиття за моделями, що газифікуються, значно більше, ніж у тих, що зустрічаються в звичайні піщані або металеві порожнинні форми [3]. Це пов'язано з тим, що рідкий метал спочатку витрачає тепло на термічне розкладання полістиролу для утворення порожнини



форми. Щоб запобігти затримці металевому фронту в процесі заповнення, температура заливання литва повинна бути вище, ніж при звичайному литті.

У Фізико-технологічному інституті металів та сплавів НАН України досліджено та розроблено різноманітні нові технології виготовлення пінополістиролових моделей, зокрема з використанням високотемпературних рідких середовищ з температурою понад 130<sup>0</sup>С, пористих та армованих моделей. Тому специфіка моделювання процесу заливання форми та термодеструкції моделі полягає в достовірному введенні граничних умов, наприклад:

– при пористій моделі зменшується кількість продуктів термодеструкції, температура та швидкість заливання будуть нижчі в порівнянні з процесом заливання мономоделі;

– при армованих моделях кількість продуктів термодеструкції зменшується пропорційно об'єму армувальних елементів, але швидко падає градієнт температури металу за рахунок тепловіддачі армувальним металевим елементам.

Ці особливості викликають труднощі при використанні існуючих програмних продуктів, тож дані проблеми на даному етапі вирішуються завдяки дослідженням та розробкам інституту з питань тепломасообмінних процесів при литті за моделями, що газифікуються [4].

#### **Список літератури:**

1. Грабченко А.И., Доброскок В.Л., Чернышов С.И. Система моделирования рабочих процессов интегрированных технологий // Сучасні технології у машинобудуванні: зб. наук. праць. – Вип. 1– Харків: НТУ «ХП», 2007. – С. 236-268.

2. С. Девятов. ProCAST – виртуальное моделирование литейных технологий. Для тех, кто привык быть впереди. САПР и графика. - №5 – 2007. – С. 18-22.

3. Bennett, S., C.W. Ramsay and D.R. Askeland., Temperature Gradients during Fill and Solidification of Al LFCs. Transactions of the American Foundrymen's Society – 1998. – №106. – р. 357-363.

4. Шинский О. И. Газогидродинамика и технологии литья железоуглеродистых и цветных сплавов по газифицируемым моделям. – дис. докт. техн. наук: 05.16.04. Киев. – 1997. – с. 473.

УДК 546.26-162

**Сілі І. І.**, к.т.н., асистент кафедри «Біомедична інженерія», ivansili1012@gmail.com

ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь

**Чурсіна О. В.**, практикуючий лікар,

Маріупольська міська лікарня №4 ім. І.К. Мацука, м. Маріуполь

## **СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ ЗАСТОСУВАННЯ ГРАФЕНУ У БІОІНЖЕНЕРІЇ**

Завдяки своїм цікавим електричним, оптичним, механічним та хімічним властивостям, графен знайшов потенційне застосування у широкому спектрі областей, включаючи медицину та біоінженерію. У цій роботі ми підведемо підсумки останнього прогресу використання графену для різних біомедичних застосувань, включаючи доставку ліків, терапію раку та біочутливість, та обговоримо можливості та проблеми в цій сформованій галузі.

Графен – це одно- або багат шаровий лист атомів вуглецю. Він може бути отриманий методом зверху-вниз або так званим методом «механічного скотчу», або методом знизу-вгору (наприклад, хімічним осадженням пари).

З точки зору оптики, графен демонструє здатність поглинати світло від УФ до ближнього інфрачервоного регіону. Деякими дослідниками також встановлено, що оксид графену виявляє видиму залежність від розміру та флуоресценцію інфрачервоного випромінювання, хоча даний механізм ще не повністю зрозумілий. За останні 2 роки з'явилась значна кількість наукових публікацій, що повідомляють про застосування графену в якості біосенсорів. В основному використовуються унікальні хімічні, оптичні, електричні та електрохімічні властивості графена. Групи дослідників розробили сучасні біосенсори на основі графену для виявлення різних видів біомолекул.

У 2008 році вперше успішно виготовили електронні прилади з графеном для виявлення бактерій, ДНК та білків. З цього часу активно проводяться дослідження, щодо біочутливості із використанням графенових електронних пристроїв. Завдяки надвисокій площі поверхні та чудовій рухливості електронів композиційні матеріали на основі графена використовуються для модифікації

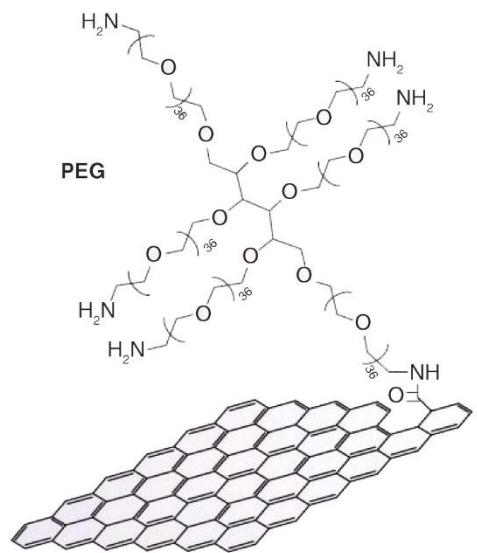
електродів в елетрохімічному зондуванні різних біомолекул, включаючи глюкозу, ДНК та білки, з високою чутливістю [1]. В останні роки було встановлено, що нано-графен з біосумісним покриттям з поліетиленгліколю (PEG) виявляє високе пасивне поглинання пухлин *in vivo* і може бути використаний для ефективної фототермічної абляції пухлин. Структура даного матеріалу наведена на рисунку 1.

Іншим напрямком дослідження застосування графену в біомедицині є специфічна властивість матеріалу доставляти лікарські засоби всередині організму, що було вперше продемонстровано групою Hongjie Dai в Університеті Стенфорда (Каліфорнія, США) у 2008 році [2].

Біомедичні застосування графену в даний час інтенсивно досліджуються багатьма дослідницькими групами по всьому світу, даючи багато перспективних, хоча переважно попередніх результатів. Що стосується застосування методів терапії онкології та доставки лікарських засобів на основі графену, то дану методику можна комбінувати з іншими новими методами терапії, такими як фототермічна терапія та потенційно генної терапії, для подальшого поліпшення терапевтичної ефективності. Однак, на нашу думку, головною перешкодою у цьому напрямку є потенційна проблема токсичності даного матеріалу.

#### Список літератури:

1. Mohanty, N. Graphene-based single-bacterium resolution biodevice and DNA transistor: interfacing graphene derivatives with nanoscale and microscale biocomponents. / N. Mohanty, V. Berry // Nano letters. - 2008. - № 8(12). - p. 69-76.
2. Liu, Z. PEGylated nanographene oxide for delivery of water-insoluble cancer drugs / Z. Liu, J. T. Robinson, X. Sun, X., H. Dai // Journal of the American Chemical Society. - 2008. - №130(33). - p. 76-77.



*Рисунок 1. Структура нано-графену з біосумісним покриттям з поліетиленгліколю (PEG)*

УДК 621.74.002.06

**Слюсарев В. А.**, аспірант, e-mail: a0509162132@gmail.com

**Калюжний П. Б.**, к. т. н., с. н. с., e-mail: kpb.ptima@gmail.com

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ

**ВИКОРИСТАННЯ АКТИВНИХ ДИФУНДУЮЧИХ ФАРБ  
ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ ВИЛИВКІВ СПЕЦВИРОБІВ ЗА МОДЕЛЯМИ,  
ЩО ГАЗИФІКУЮТЬСЯ**

Підвищення обороноздатності нашої держави тісно пов'язано з розвитком спеціального машинобудування, зокрема технологій з виготовлення корпусів імпульсного руйнування. Чавунні корпуси спецвиробів радянської конструкції, що дотепер використовуються ЗСУ, характеризуються низькими тактико-технічними показниками. У зв'язку з чим розробка нових конструкцій та технологій одержання корпусів спецвиробів, які при імпульсному руйнуванні поділялися на фрагменти ефективної маси та розмірів є актуальним завданням.

Мета роботи – розробка технологічних рішень одержання чавунних корпусів спецвиробів, які при руйнуванні поділялися на гарантоване число фрагментів певної маси і форми, не знижуючи при цьому аеродинамічні характеристики і не збільшуючи значно виробничі витрати.

Виливки з сірого чавуну, виготовлені традиційними методами лиття, як правило, мають практично однорідну мікроструктуру з однаковими механічними властивостями в тілі всього вилівка. Ідея розробки полягає в тому, щоб змінити структуру чавунного вилівка корпусу у заданих місцях, тим самим створити умови для прогнозованого руйнування корпусу.

Відомо, що деякі хімічні елементи в невеликій кількості здатні суттєво змінювати структуру чавунів [1–2]. Дифундуючі елементи здатні змінювати властивості сплавів на значну глибину при вмісті, що виражається за тисячними або сотими долями відсотка. Наприклад [1], при вмісті у фарбі 20% телуру ущільнення робочого шару чавунного вилівка спостерігалось на глибину до 2-3 мм. Збільшення вмісту телуру до 50% сприяло збільшенню товщини ущільненого

шару, і при використанні фарб з вмістом 50-75% телуру спостерігався відбіл поверхні на глибину 5-7 мм.

Таким чином, якщо нанести на поверхню пінополістиролової моделі фарбу з телуrom у вигляді сітки з товщиною лінії 2 мм та з квадратною коміркою зі стороною приблизно 5x5 мм, ми зможемо задати межі для поділу корпусу вилівка на фрагменти. Модель з нанесеною фарбою з телуrom висушують, після чого наносять протипригарну фарбу, яка зазвичай використовується при литті за моделями, що газифікуються. Після заливання форм сірим чавуном марки СЧ300 та охолодження виливків корпуси спецвиробів будуть мати перлітну структуру з цементитною сіткою, глибина проникнення якої становить від 1/4 до 1/3 товщини стінки вилівка. При імпульсному руйнуванні виливків цементні включення, які в порівнянні з перлітом мають значно меншу міцність, будуть сприяти поділу корпусів на задані частки (фрагменти).

Отже, ефективне застосування ливарних технологічних рішень дозволить одержати вилівки корпусів спецвиробів, що мають не тільки високі показники якості, але і прогнозовані технічні характеристики.

#### **Список літератури:**

1. Справочник по чугунному литью / под ред. Н.Г. Гиршовича. Ленинград: Машиностроение, 1978. 761 с.
2. Чугун: Справ. изд. / под ред. А.Д. Шермана и А.А. Жукова. Москва: Металлургия, 1991. 576 с.

УДК 621.74.046; 621.791. 725;621.763

**Тимошенко А. М.<sup>1</sup>**, науковий співробітник, [marschal@i.ua](mailto:marschal@i.ua)

**Шматко О. В.<sup>1</sup>**, молодший науковий співробітник, [blacknorfolk@gmail.com](mailto:blacknorfolk@gmail.com)

**Гончарова О. М.<sup>2</sup>**, науковий співробітник, [timoschka@bigmir.net](mailto:timoschka@bigmir.net),

**Гончаров П. В.<sup>2</sup>**, старший науковий співробітник, [goncharov.pavlo@gmail.com](mailto:goncharov.pavlo@gmail.com),

<sup>1</sup>Фізико-технологічний інститут металів і сплавів НАН України, м. Київ

<sup>2</sup>Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України, м. Київ

### **ЛАЗЕРНО-ЛИВАРНИЙ МЕТОДОМ ОТРИМАННЯ ДИСПЕРСНО-ЗМІЦНЕНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ З ВИКОРИСТАННЯ РЕАКТОРА З ОБРОБКОЮ РУХОМОГО СТРУМЕНЮ РОЗПЛАВУ**

При отриманні литих дисперсно-зміцнених композиційних матеріалів і покриттів важливою умовою є рівномірний розподіл частинок в матриці композиційного матеріалу та підвищення якості зв'язку між частинками дисперсного матеріалу і розплавом, що безпосередньо залежить від температури їх нагріву, фізико-хімічних параметрів «матриця-включення», способу введення та замішування частинок в розплав.

У даній роботі розроблено лазерно-ливарний метод отримання дисперсно - зміцненого композиційного матеріалу, який дозволяє поєднати переваги використання концентрованих джерел енергії з високоефективними традиційними ливарними технологіями. Даний метод передбачає безперервне отримання дисперсно-зміцнених композиційних матеріалів з оптимальним співвідношення композиційної складової (до 10% в об'ємі) на основі формування суспензійних розплавів у проточних каналах реактора змішування з лазерною обробкою частинок та рухомого струменя розплаву.

З метою реалізації лазерно-ливарного методу розроблено реактор з обробкою рухомого струменя розплаву. За допомогою проведеного імітаційного та фізичного моделювання досліджено гідродинамічні особливості формування суспензії при різних співвідношеннях густини частинки і розплаву. Встановлено траєкторії руху для частинок зі сталі та карбіду кремнію діаметром 150-500 мкм. В даному реакторі формування суспензійного розплаву відбувається без утворення повітряної каверни на поверхні рідини в умовах її синхронізації

наповнення та витікання з подачею частинок в газолазерному потоці без закупорювання каналів реактора газом та переповненням рідиною області лазерного впливу.

Для найбільш ефективної обробки частинок їх нагрів лазерним випромінюванням необхідно проводити в режимі газопорошкового потоку. З цією метою фокус лазерного випромінювання розташовували вище режиму газопорошкового потоку, що забезпечило обробку частинок та поверхні розплаву в фокальній та зафокальній області лазерного випромінювання. Встановлено особливості конвекційного, лазерного та їх сумісного нагріву (металевих і неметалевих) частинок в газопорошкових потоках, в залежності від потужності лазерного випромінювання, траєкторії руху, лінійної та кутової (власного обертання) швидкості, їх фізичних параметрів та розмірів.

Адекватність використання результатів фізико-математичного моделювання в експериментальних дослідженнях отримання композиційного матеріалу на основі сплаву АК7 і частинок Р6М5 візуально простежується в процесах взаємодії частинок з розплавом. При оптимальних параметрах лазерної обробки частинок і розплаву визначених в процесі математичного моделювання спостерігається якісний зв'язок їх дифузійної взаємодії по границі контакту «матриця – включення». Відхилення від оптимальних параметрів процесу отримання композиційних матеріалів в бік зменшення потужності лазерного випромінювання, часу обробки та інтенсивності перемішування призводить до погіршення якості зв'язку «матриця – включення», появи пористості і зон не з'єднання. Надмірне підвищення потужності лазерного випромінювання призводить до процесів повного плавлення частинок, можливого руйнування (дроблення) або їх коагуляції.

За результатами експериментальної апробації підтверджено ефективність застосування реакторів з обробкою струменя розплаву для отримання дисперсно-зміцненого матеріалу з використанням алюмінієвих і мідних сплавів. На основі чисельних розрахунків та металографічних досліджень, доведено необхідності використання лазерного випромінювання для нагріву частинок в газопорошковому потоці, що дозволяє отримати якісний зв'язок між зміцнюючими елементами і матрицею литого композиційного матеріалу.

УДК 538.9

Ткач В. А., аспірантка, провідний інженер, [vera.ocheretova@gmail.com](mailto:vera.ocheretova@gmail.com)

Хижун О. Ю., д. ф.-м. н.

ІПМ НАНУ ім. І. М. Францевича, м. Київ

**МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОННОЇ БУДОВИ  
ЧЕТВЕРНИХ ХАЛЬКОГЕНІДІВ  $\text{Cu}_2\text{HgGeS}_4$  ТА  $\text{Cu}_2\text{HgGeSe}_4$   
МЕТОДОМ ТЕОРІЇ ФУНКЦІОНАЛУ ЩІЛЬНОСТІ**

Четвертинні халькогеніди на основі міді типу  $\text{Cu}_2\text{BCX}_4$  ( $\text{B} = \text{Zn}, \text{Cd}, \text{Hg}, \text{C} = \text{Si}, \text{Ge}, \text{Sn}; \text{X} = \text{S}, \text{Se}$ ) належать до великого сімейства споріднених сполук, які є об'єктами дослідження через цікавий комплекс фізичних, оптичних, електричних властивостей, що роблять ці сполуки перспективними у якості матеріалів для пристроїв сонячної енергетики, нелінійної оптики, термоелектричних приладів.

Для поглиблення знань про дані сполуки було проведено моделювання їх електронної структури внутрішніх енергетичних рівнів за допомогою першопринципних розрахунків згідно до теорії функціоналу щільності (DFT – Density Functional Theory). Для розрахунків використовувався модифікований потенціал Беке-Джонсона. Було враховано параметр Хаббарда та ефект спінової орбітальної розщеплення (відповідно,  $m\text{BJ} + \text{U} + \text{SO}$ ). Також було проведено експериментальні дослідження електронної структури зазначених сполук методом рентгенівської фотоелектронної спектроскопії (XPS). Для досліджень використовувалися монокристали, попередньо вирощені за методом Бріджмена-Стокбаргера. Поверхню монокристалів перед XPS дослідженням очищували за допомогою потоку іонів  $\text{Ar}^+$ .

Основні результати дослідження є наступними:

- Обидві сполуки мають низьку гігроскопічність. Це вказує на можливість їхнього використання в приладах, які працюють в умовах навколишнього середовища
- Очищення поверхні сполук за допомогою іонів  $\text{Ar}^+$  призводить до зміни хімічного складу приповерхневих шарів монокристалів. Відбувається



переважне травлення атомів ртуті. Також очищення прибирає спектральні лінії кисню та вуглецю, які утворюються через наявність домішок на поверхні зразків протягом їх зберігання.

- Обидві сполуки – прямозонні напівпровідники.
- Обидві сполуки демонструють переважний іонно-ковалентний тип хімічного зв'язку.

**Список літератури:**

1) Vu, T. First-principles DFT computation and X-ray spectroscopy study of the electronic band structure and optical constants of  $\text{Cu}_2\text{HgGeS}_4$ . / Vu, T. V, Lavrentyev, A. A., Gabrelian, B. V, Tkach, V. A., Pham, K. D., Marchuk, O. V, ... Khyzhun, O. Y. // Solid State Sciences. – 2020. - №104. – pp.

2) Gabrelian, B. V. Quaternary  $\text{Cu}_2\text{HgGeSe}_4$  selenide: Its electronic and optical properties as elucidated from TB-mBJ band-structure calculations and XPS and XES measurements. / Gabrelian, B. V, Lavrentyev, A. A., Vu, T. V, Tkach, V. A., Marchuk, O. V, Kalmykova, K. F., Khyzhun, O. Y. // Chemical Physics. – 2020. - №536. – pp.

УДК 669.715'28: 66.046.516

**Фон Прусс М. А.**, аспірант, e-mail: [m.fonpruss@gmail.com](mailto:m.fonpruss@gmail.com)

**Ворон М. М.**, к. т. н., ст. наук. співр. e-mail: [mihail.voron@gmail.com](mailto:mihail.voron@gmail.com)

Фізико–технологічний інститут металів та сплавів НАН України, м. Київ

## **ВПЛИВ МОЛІБДЕНУ НА СТРУКТУРУ ВТОРИННИХ СИЛУМІНІВ**

Алюмінієві сплави сьогодні є відносяться до ряду найбільш затребуваних конструкційних матеріалів у світі [1-2]. Це явище пояснюється значними природними запасами, а також унікальним поєднанням хімічних, фізичних і механічних характеристик алюмінію і його сплавів. В основному сплави на основі алюмінію широко використовуються в інженерних конструкціях і деталях, де потрібні мала вага, висока технологічність і стійкість до корозії [1]. Ливарні алюмінієві сплави за своїм обсягом займають гідне місце в сучасному світовому виробництві. Найбільш вживаними серед них є сплави системи Al-Si та Al-Si-Cu, для яких характерними є відмінні ливарні властивості, цілком задовільні показники механічних властивостей та дуже висока придатність для багатократної вторинної переробки. Крім очевидної економічної доцільності вторинної переробки силумінів, яка полягає у використанні лише 5% енергії, порівняно з виробництвом первинного алюмінію, з кожним циклом переробки виникають проблеми з насичення металу шкідливими домішками, наприклад - залізом [1, 2].

Залізо вважається однією з найбільш шкідливих домішок в алюмінієвих сплавах. Воно має дуже низьку розчинність у алюмінії (до 0,05%), та сприяє утворенню шкідливих залізовмісних фаз, наприклад голкоподібної  $\beta$ -Al<sub>5</sub>FeSi, які істотно знижують механічні властивості готових виробів.

Загальноприйнятим методом усунення шкідливого впливу заліза є додавання одного або декількох модифікаторів. Модифікування сприяє утворенню залізовмісних фаз зміненого складу та кристалографічного типу, які мають більш сприятливу морфологію. Класичними добавками для цього слугують хром, марганець та нікель [1-3].

Потенційно придатним модифікатором для силумінів може виступати молібден, який здатен додатково підвищувати міцність і знижувати пористість виливків. На сьогоднішній день існує мало досліджень, присвячених впливу цього елемента на структурно-фазові характеристики силумінів. Також цікавим залишається вплив молібдену на формування залізовмісних фаз. Цим питанням було присвячено дослідження, підчас яких молібденовмісну лігатуру додавали у поширений промисловий сплав AlSi9Cu3 (Аналог АК8М3) таким чином, щоб вміст молібдену становив 0,15-0,2%. Вміст заліза у сплаві складав 0,55% мас. Дослідні зразки заливали в графітові підігріті форми та у мідні без підігріву. Таким чином порівнювали ефекти від додавання молібдену при різних швидкостях охолодження.

Модифікований молібденом розплав заливали в підігріту графітову форму та охолоджену мідну, щоб дослідити ефективність модифікатора при різних швидкостях охолодження та кристалізації розплаву. В ході досліджень виявлено, що модифікований сплав, порівняно з вихідним, залитий в графітову форму, має більш крупнозернисту будову та залізовмісні фази більших розмірів. При цьому, евтектика такого зразку розподілена більш рівномірно та містить більше складової Al<sub>2</sub>Cu і молібдену. Швидка кристалізація модифікованого розплаву призвела до появи молібдену в складі твердого розчину на основі алюмінію та більш ефективному подрібненню залізовмісних фаз. Таким чином, встановлено, що модифікування силумінів системи Al-Si-Cu молібденом впливає більшим чином на зміну хімічного складу, форму та розміри окремих фаз та структурних складових та не має ярко вираженої зародкоутворюючої дії.

#### **Список літератури:**

1. Белов, Н.А. Фазовый состав алюминиевых сплавов / Н.А. Белов // М.: МИСиС. – 2009. – 235 С.
2. Belov, N.A.; Aksenov, A.A.; Eskin, D.G. Iron in Aluminum Alloys: Impurity and Alloying Element / N.A. Belov, A.A. Aksenov, D.G. Eskin // CRC Press: Boca Raton, FL, USA. – 2002. – p. 360.
3. Mahta, M. Overview of  $\beta$ -Al<sub>5</sub>FeSi Phase in Al-Si Alloys / M. Mahta, M. Emamy, X. Cao, J. Campbell // Materials Science Research Trends. – 2017. – PP. 1–16.

УДК 669.721.5

**Хохлов М. А.**, к. т. н., н. с., [maksymkhokhlov@gmail.com](mailto:maksymkhokhlov@gmail.com)

**Єрмоленко Д. Ю.**, к. т. н., н. с.

**Хохлова Ю. А.**, к. т. н., с. н. с.

Інститут електрозварювання ім. Є.О.Патона НАН України, м. Київ

## **ЛЕГУВАННЯ СПЛАВІВ СИСТЕМ Mg-AL ТА Mg-CD ГАЛІЄМ ТА 3D-ВІЗУАЛІЗАЦІЯ ЇХ МЕХАНІЗМІВ ЗМІЦНЕННЯ**

Одним з пріоритетних напрямків розвитку технологій в багатьох галузях промисловості є зменшення маси деталей та конструкцій, при одночасному збереженні високого рівня фізико-механічних властивостей. Магнієві сплави є найлегшими металевими конструкційними матеріалами, які в 4 рази легше сталей та в 1,5 рази легше сплавів алюмінію, вони мають високу питому міцність, добре поглинають енергію удару та вібрації, легко обробляються та зварюються. Магнієві сплави широко використовуються в конструкціях автомобілів, авіації та електронної продукції – комп'ютерах, мобільних телефонах, цифрових камерах, в медичному обладнанні [1-2]. Для подальшого розширення області застосування магнієвих сплавів, необхідно покращувати їх міцність, ковкість, модуль пружності.

Було встановлено, що дифузія галію в магнієвих сплавах систем Mg-Al та Mg-Cd призводить до збільшення модуля пружності Юнга від 42 ГПа до 120 ГПа та мікротвердості від 1,2 ГПа до 4 ГПа, при збереженні коефіцієнту пластичності. Цей ефект можна використовувати для покращення існуючих промислових магнієвих сплавів і збільшення їх долі використання та для розробки нових сплавів системи Mg-X-Ga з підвищеними фізико-механічними властивостями [2].

За допомогою комп'ютерної моделі було показано, що ефект зміцнення магнію та його сплавів при легуванні галієм може відбуватися за двома механізмами: перший – упорядкування та ущільнення магнієвої матриці атомами галію при формуванні інтерметалідної фази  $Mg_5Ga_2$ ; другий – двійникування на

границях гексагональної кристалічної ґратки Mg та орторомбічної ґратки фази Mg<sub>5</sub>Ga<sub>2</sub> [3].

**Список літератури:**

1. M. Khokhlov, D. Ishchenko, J. Khokhlova / Peculiarities of forming diffusion bimetallic joints of aluminum foam with a monolithic magnesium alloy // Journal of magnesium and alloy. Elsevier – 2016 – Volume 4, Issue 4 – P. 326–329.
2. J. Khokhlova, M. Khokhlov, V. Synyuk / Magnesium alloy AZ63A reinforcement by alloying with gallium and using high-disperse ZrO<sub>2</sub> particles // Journal of magnesium and alloy. Elsevier – 2016 – Volume 4, Issue 4 – P. 265–269.
3. M. Khokhlov, J. Khokhlova / 3d-visualization of magnesium strengthening mechanisms for a description of experimentally obtained data of alloying effect in Mg-Ga system // Journal of magnesium and alloy. Elsevier – 2020 – Volume 8, Issue 2 – P. 546-551.

УДК 621.791.754'293.92

Шваб С. Л., к. т. н., с. н. с., [serg.schwab@gmail.com](mailto:serg.schwab@gmail.com)  
ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України, м Київ

## ТЕХНОЛОГІЯ TIG ЗВАРЮВАННЯ І НАПЛАВЛЕННЯ ТИТАНОВОГО СПЛАВУ VT22 ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ КЕРУЮЧОГО МАГНІТНОГО ПОЛЯ І ПРИСАДНОГО ПОРОШКОВОГО ДРОТУ

Високоміцний титановий сплав VT22 (система Ti-5Al-5Mo-5V-1Fe-1Cr) знайшов широке застосування при виготовленні силових елементів в літаках типу «АН». Застосування сплаву VT22, як конструкційного матеріалу для виготовлення зварних конструкцій, досить складне, тому що, володіючи високою міцністю (понад 1200 МПа) і низькою пластичністю, він дуже чутливий до концентраторів напруги, в тому числі до зварних швів. При зварюванні титанового сплаву VT22 шви, виконані без зміни хімічного складу в порівнянні з основним металом, не володіють необхідним комплексом механічних характеристик.

Можливим шляхом вирішення цієї проблеми є зниження ступеня легування зварного шва за рахунок правильного підбору присадного матеріалу. В ІЕЗ ім. Є.О. Патона розроблено принципово новий присадний матеріал для зварювання титанового сплаву VT22 - порошок дріт, що складається з оболонки титану марки VT1-00, і осердя, до складу якого входять металева (сплав VT22) і флюсова компоненти (фториди лужноземельних елементів).

Встановлено, що використання титанового присадного порошкового дроту в поєднанні з керуючим магнітним полем позитивно впливають на властивості зварного з'єднання при обраному стандартному режимі термічної обробки. Міцність металу шва (1121,5 МПа) трохи вище, ніж міцність основного металу (1057,5 МПа), а його ударна в'язкість становить 70 ... 75% від ударної в'язкості основного металу.

Використання порошкового дроту в якості присадки при аргонодуговому наплавленні забезпечує можливість відновлення зношених поверхонь деталей з титанового сплаву VT22 авіаційного призначення з високим рівнем експлуатаційних характеристик.

**Янголь О. А.**, аспірант, [samaly@bigmir.net](mailto:samaly@bigmir.net)

ФТІМС НАН України, м. Київ

## **ПЛАЗМОВЕ РАФІНУВАННЯ І МОДИФІКАЦІЯ МІДНИХ СПЛАВІВ ТИТАНОМ ТА НІКЕЛЕМ**

Об'єктом дослідження є можливість вибору сплаву на основі міді для виробництва іскробезпечного інструменту, а також розробити екологічно безпечну технологію виплавки і глибинної плазмомодифікуючої обробки розплаву [1].

Досить давно практикується використання у вибухонебезпечних приміщеннях матеріалів, повністю або частково виключаючи утворення іскор. До них в основному відносяться сплави мідь - латунь і бронза, алюміній та його сплави.

Для запобігання ініціювання горіння фрикційними іскрами на багатьох виробництвах введені обмеження на використання іскро утворюючих матеріалів. До потенційних джерел фрикційних іскор відносять ручний слюсарний інструмент та витяжні вентилятори, останні - при можливих пошкодженнях та несправностях.

Найчастіше для виготовлення іскробезпечного інструменту використовуються берилієві бронзи.

Виробам з берилієвих бронз після термічної і особливо після термомодеформаційних обробки (ТДВ) притаманні: високі механічні властивості - міцність, твердість, пружність, підвищена зносостійкість; хороша тепло- і електропровідність; стійкість до корозії, холодостійкість; вони не дають іскри при зіткненнях [2].

Сплав на основі берилію виділяються серед інших бронз високою зносостійкістю і стійкістю до корозійної втоми. Поряд з іншими бронзами має гарні антифрикційні і пружні властивості.

Однак, не дивлячись на всю свою ефективність застосування у вибухонебезпечних галузях промисловості, процес виготовлення берилієвих

бронз, є небезпечним і витратним щодо забезпечення захисту робочого персоналу та навколишнього середовища від впливу токсичного берилію та його сполук.

У зарубіжних наукових публікаціях є патенти на розробку аналогічних за своїми фізико-хімічних властивостей сплавів, що пропонують виготовляти іскробезпечний інструмент з титанової бронзи.

Аналізуючи показники, видно, що промислові мідно-титанові сплави містять від 2% до 6% титану і їх використовують в якості високо модульних сплавів на заміну берилієвих бронз [3].

#### **Список літератури:**

1. Найдек В. Л. Підвищення якості виливків з алюмінієвих і мідних сплавів плазмореагентною обробкою їх розплавів / В. Л. Найдек, А. В. Нарівській. - Київ: Наукова думка, 2008. - 112 с

2. Бекмансуров Р. Р., Железняк Л. М. Особенности производства и применения изделий из бериллиевых бронз / г. Екатеринбург

3. Лактіонов-Ремізовський В. А., Іванченко В. Г., Грибов М.М. Визначення можливості розробки неіскристого сплаву на заміну берилієвої бронзи для виготовлення литого вибухобезпечного інструмента. В зб. Сучасні матеріали і технології в металургії та машинобудуванні: Тез.докл.- Київ ред. ж-ла «Процеси лиття» за участю МП «Інформ лиття», 2007 - 42с.